UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

SEDE QUITO-CAMPUS SUR

CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS

MENCIÓN ROBÓTICA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

DESARROLLO DE SOFTWARE HMI SCADA E IMPLEMENTACIÓN SOBRE UN MÓDULO DIDÁCTICO AUTÓNOMO PARA VENTAS DE LA EMPRESA ECUAINSETEC CÍA. LTDA.

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO DE SISTEMAS

CARRION NARANJO MARCIA FERNANDA
ROMERO TIGMASA CRISTIAN RAMIRO

DIRECTOR: ING. CARLOS PILLAJO

Quito, junio 2012

DECLARACIÓN

Nosotros, Carrión Naranjo Marcia Fernanda y Romero Tigmasa Cristian Ramiro, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

_____	_____
Carrión Naranjo Marcia Fernanda	Romero Tigmasa Cristian Ramiro

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Carrión Naranjo Marcia Fernanda y Romero Tigmasa Cristian Ramiro bajo mi dirección.

_____

Ing. Carlos Pillajo

Director de Tesis

DEDICATORIA

A mi amado esposo Víctor, a mi hija Shirley, a mis padres Segundo y Elida, a ECUAINSETEC- Gerardo Castro, a mi tutor Ing. Pillajo y a la UPS que gracias a su apoyo académico y fraternal, me han permitido alcanzar una de mis metas.

En si a todas las personas con cuales he podido ayudar e igual forma me han dado una mano para no dejarme vencer, que nunca se olviden que pueden contar con una amiga y que fui formada en la prestigiosa UPS.

Marcia Carrión

A Dios por darme unos maravillosos padres, José y María que me educaron con grandes valores para afrontar la vida, a mi gran familia Romero Molina, mi esposa Jacqueline, mis hijos, Camila, Nati y Junior, que son la luz con la que despierto cada mañana, a mi amiga de tesis, Marcia, con la que compartí muchos momentos estudiantiles y que sin su ayuda no habría logrado alcanzar una de mis metas académicas.

Cristian Romero

INDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN **1**

CERTIFICACIÓN **2**

DEDICATORIA **3**

INDICE DE CONTENIDO **4**

INDICE DE FIGURAS **9**

INDICE DE TABLAS **12**

PRESENTACIÓN **13**

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN **17**

1.1 ANTECEDENTES 17
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 18
1.3 OBJETIVOS 18
1.3.1. OBJETIVO GENERAL 18
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18
1.4 JUSTIFICACIÓN 19
1.5 ALCANCE 20
1.5.1 MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS 20
1.5.2 MÓDULO DE COMUNICACIÓN 20
1.5.3 MÓDULO DE VISUALIZACIÓN 20

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO **21**

2.1 SISTEMAS HMI/SCADA 21
2.1.1 SISTEMAS HMI 21
2.1.1.1 FUNCIONES 21
2.1.1.2 TIPOS 22
2.1.2 SISTEMAS SCADA 22
2.1.2.1 FUNCIONES 24
2.1.2.2 TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN 25
2.1.2.3 COMUNICACIONES 26
2.1.2.4 ELEMENTOS 26
2.1.2.5 PERÍODO DE ESCANEO 28
2.1.2.6 DISPOSITIVOS DE CAMPO Y CABLEADO 28
2.1.3 FACILIDADES EN EL DISEÑO DE SISTEMAS HMI/SCADA 30
2.2 SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO. 30
2.2.1 EVOLUCIÓN 31

2.2.2 COMPARACIÓN ENTRE UN SISTEMA CENTRALIZADO Y OTRO DISTRIBUIDO 32
2.2.3 ARQUITECTURA 34
2.3 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN 34
2.3.1 INTRODUCCIÓN 34
2.3.2 REDES INDUSTRIALES 35
2.3.2.1 NIVELES 36
2.3.3 BUSES DE CAMPO 37
2.3.3.1 PROFIBUS 38
2.3.3.2 ASi (Actuator Sensor Interface) 38
2.3.3.3 BITBUS 39
2.3.3.4 HART 39
2.3.3.5 FOUNDATION FIELDBUS 39
2.3.4 RS-485 40
2.3.4.1 BUS DE 2 HILOS RS485 41
2.3.4.2 MÉTODO FÍSICO DE TRANSMISIÓN 41
2.3.4.3 LONGITUD DE LÍNEAS 42
2.3.4.4 PARTICULARIDADES 42
2.3.5 MODBUS 43
2.3.5.1 INTRODUCCIÓN 43
2.3.5.2 ESTRUCTURA 43
2.3.5.3 PROTOCOLO 44
2.3.5.4 NIVEL DE APLICACIÓN 47
2.3.5.5 MODBUS TCP/IP 47
2.3.6 OPC (OLE for Process Control) 50
2.3.6.1 INTRODUCCIÓN 50
2.3.6.2 ORIGEN 51
2.3.6.2 ARQUITECTURA 52

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD 54

3.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE EQUIPOS UTILIZADOS VS. EQUIPOS DISPONIBLES EN EL MERCADO 54
3.1 ESTUDIO TÉCNICO DE COMPONENTE DE HARDWARE 58
3.1.1 HMI – 450 (INTERFACE HOMBRE-MÁQUINA) 59
3.1.2 CONVERSOR DE PROTOCOLO PC-E 61
3.1.3 CONTROLADOR BTC-9300 63
3.1.3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES LOGICA DIFUSA+ PID 65
3.1.3.2 PUERTO DE PROGRAMACIÓN Y DIP SWITCH 66
3.1.3.3 DESCRIPCIÓN DE PARÁMETROS 67

3.1.3.4 NORMAS DE PROTECCIÓN ... 68
3.1.3.5 REGISTROS DE DIRECCIONES ... 68
3.1.5 MODULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS I/O-DAIO ... 69
3.1.5.1 ENTRADAS RTD ... 70
3.1.5.2 ENTRADAS ANALÓGICAS ... 70
3.1.5.3 SALIDA ANALÓGICA ... 70
3.1.5.4 ENTRADAS DIGITALES ... 71
3.1.5.5 SALIDAS DIGITALES ... 71
3.1.5.6 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ... 72
3.1.5.7 INDICADORES DE ESTADO ... 74
3.1.5.8 CONFIGURACIÓN DE LOS PUENTES ... 76
3.1.5.8.1 ***CORRIENTE DE ENTRADA Y SALIDA*** ... 76
3.1.5.8.2 ***VOLTAJE DE ENTRADA Y SALIDA*** ... 76
3.1.5.9 REGISTROS DE DIRECCIONES ... 77
3.1.6 SENSOR DE TEMPERATURA PT-100 ... 77
3.1.6.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS PARA SELECCIONAR UN SENSOR ... 79
3.1.6.2.1 ***PT-100 CON 2 HILOS*** ... 79
3.1.6.2.2 ***PT-100 CON 3 HILOS*** ... 80
3.1.6.2.3 ***PT-100 CON 4 HILOS*** ... 80
3.2 ESTUDIO TÉCNICO DE SOFTWARE HMI/SCADA ... 81
3.2.1. LabVIEW ... 81
3.2.1.1 USOS ... 82
3.2.1.2 CARACTERISTICAS ... 82
3.2.2 LOOKOUT ... 83
3.2.3 INTOUCH ... 85
3.2.3.1 BENEFICIOS ... 85
3.2.3.2 CAPACIDADES ... 85
3.2.4 ESTUDIO DE SOFTWARE SCADA ... 86
3.3 ESTUDIO FINANCIERO DE HARDWARE Y SOFTWARE. ... 87
CAPÍTULO 4. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE HARDWARE Y SOFTWARE .. 89
4.1 HARDWARE ... 89
4.1.1 DIAGRAMAS DE CONECTIVIDAD ... 89
4.1.1.1 DIAGRAMA ELECTRICO (Ver Anexo 1) ... 89
4.1.1.2 DIAGRAMA DE BLOQUES ... 90
4.1.2 SENSORES Y ACTUADORES ... 91
4.1.2.1 SENSOR DE TEMPERATURA PT-100 ... 91
4.1.2.1.1 ***CONEXIÓN ELECTRICA*** ... 91
4.1.3 CONTROLADORES DEDICADOS. ... 91
4.1.3.1 CONTROLADOR DE TEMPERATURA BTC-9300 ... 92

4.1.4 SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS 94
4.1.4.1 CONVERSOR PC-E 94
4.1.4.1.1 *PARÁMETROS BÁSICOS* 94
4.1.4.2 DAIO 96
4.1.4.2.1 *CONEXIÓN ELÉCTRICA Y COMUNICACIÓN RS-485* 96
4.2 SOFTWARE 98
4.2.1 DIAGRAMAS FUNCIONALES 98
4.2.1.1 LOGIN 99
4.2.1.2 MODIFICAR NIVEL DE AGUA SV 99
4.2.1.3 MONITORIZACIÓN DE LOS PROCESOS 99
4.2.1.4 VISUALIZACIÓN DE HISTÓRICOS (GRÁFICOS) 99
4.2.1.5 MONITORIZACIÓN DE ALARMAS 99
4.2.1.6 LOGOUT Y/O SALIR 100
4.2.2 DIAGRAMA DE CASOS DE USO 100
4.2.3 DESARROLLO DE SOFTWARE HMI/SCADA 100
4.2.3.1 LABVIEW 100
4.2.3.1.1 *INSTALACIÓN DE MODBUS LABVIEW LIBRARY* 100
PASO 1: DESCARGA DE LA LIBRERÍA 101
PASO 2: INSTALACIÓN 101
PASO 3: VERIFICACIÓN DE INSTALACIÓN 102
4.2.3.1.2 *CONEXIÓN PCE* 102
4.2.3.1.3 LECTURA-ESCRITURA BTC9300 – DAIO 103
FASE 1: Lectura BTC9300 103
FASE 2: Escritura BTC9300 106
FASE 3: Lectura módulo DAIO 108
4.2.3.1.4 GRAFICAS, ORDEN DE PROCESOS Y ALARMAS 109
INTRODUCCIÓN 109
FASE 1: Proceso de llenado 110
FASE 2: Proceso de cocción 111
FASE 3: Proceso de vaciado 111
4.2.3.2 INTOUCH 112
4.2.3.2.1 CONFIGURACIÓN- NODO1: BTC-9300 112
CONFIGURACION DEL MBENET 112
CONFIGURACION DEL CONTROLADOR BTC-9300 114
4.2.3.2.2 CONFIGURACION- NODO21: IO-DAIO 115
CONFIGURACION DEL OPC SERVER 116
CONFIGURACION DEL OPCLINK 120
CONFIGURACION INTOUCH PARA LA TARJETA I/O DAIO 121

CAPÍTULO 5. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS 123

5.1 VALIDACIÓN Y PRUEBAS FUNCIONALES. 123
5.1.1 LIBRERÍA MODBUS TCP PARA LABVIEW 123

5.1.2 LECTURA DE REGISTRO DEL DISPOSITIVO BTC 9300 123
5.1.3 ESCRITURA DE REGISTRO EN EL DISPOSITIVO BTC 9300 123
5.1.4 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN EN LA RED RS-485 124
5.1.4.1 DIAGRAMA DE CONEXIÓN RECOMENDADO EN LA DAIO 124
5.1.4.2 CONEXIÓN RECOMENDADO EN EL BTC9300 125
5.1.5 VERIFICACIÓN DE LAS ENTRADAS DE DISPOSITIVOS 125
5.1.6 VELOCIDAD DE COMUNICACIÓN ENTRE EQUIPOS 126
5.2 ELABORACIÓN DE MANUAL TÉCNICO Y DE USUARIO 127
5.2.1 MANUAL TÉCNICO (Ver Anexo 2) 127
5.2.2 MANUAL DE USUARIO-INTOUCH (Ver Anexo 3) 127
5.2.3 MANUAL DE USUARIO-LABVIEW (Ver Anexo 4). 127
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 128
6.1 CONCLUSIONES. 128
6.2 RECOMENDACIONES. 129
BIBLIOGRAFIA 131
ANEXOS 133
INDICE DE ANEXOS 134

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- DCS: Control Central. 31
Figura 2.- DCS: Control Distribuido. 32
Figura 3.- Diagrama esquemático de la arquitectura del sistema TDC 2000 de la firma Honeywell. 33
Figura 4.- Niveles de una red industrial. 36
Figura 5.- Esquema de conexión RS-485 para un bus de 2 hilos. 41
Figura 6.- Trama genérica del mensaje según el código empleado. 45
Figura 7.- Cálculo del CRC codificación RTU. 46
Figura 8.- Encapsulamiento de la trama Modbus en TCP. 48
Figura 9.- Semejanza del sistema OPC con los sistemas tradicionales. 51
Figura 10.- Integración de sistemas heterogéneos con OPC. 52
Figura 11.- Arquitectura general y componentes OPC. 52
Figura 12.- Pantalla HMI-450. 59
Figura 13.- Conversor PC-E 61
Figura 14.- Controlador BTC-9300. 63
Figura 15.- Diagrama de Bloques Lógica Difusa +PID. 65
Figura 16.- Curva de estabilidad. 65
Figura 17.- Programación de DIP Switch BTC-9300. 66
Figura 18.- Módulo IO/DAIO. 69
Figura 19.- Indicadores de estado y DIP Switch del módulo DAIO. 74
Figura 20.- Conexión de entradas y salidas DAIO. 75
Figura 21.- Conexión eléctrica y de comunicación RS-485. 75
Figura 22.- Configuración de jumpers para corriente de E/S análogas DAIO. 76
Figura 23.- Configuración de jumpers para voltaje de E/S análogas DAIO. 77
Figura 24.- Partes de un sensor de temperatura. 77
Figura 25.- Partes de un sensor de temperatura. 79
Figura 26.- Esquema eléctrico PT-100 con 2 hilos. 79
Figura 27.- Esquema eléctrico PT-100 con 3 hilos. 80
Figura 28.- Esquema eléctrico PT-100 con 4 hilos. 80
Figura 29.- Diagrama de bloques del módulo didáctico autónomo. 90
Figura 30.- Conexión eléctrica PT-100 de 3 hilos. 91
Figura 31.- Diagrama de conexión de la PT-100 en la tarjeta DAIO. 91
Figura 32.- Codificación del BTC-9300 seleccionado. 92
Figura 33.- Conexión de la entrada análoga del BTC-9300. 94
Figura 34.- Configuración de los parámetros de red del PC-E 94

Figura 35.- Configuración de comunicación de PC-E. 95
Figura 36.- Parámetros de puerto de comunicación para la PC-E 96
Figura 37.- Conexión eléctrica y de comunicación RS-485. 96
Figura 38.- Conexión física PT-100 y señal de 4-20mA. 97
Figura 39.- Diagrama funcional del programa SCADA. 98
Figura 40.- Diagrama de casos de uso del programa SCADA. 100
Figura 41.- Confirmación de reemplazo de carpetas dentro de la instalación de MODBUS Library. 101
Figura 42.- Ubicación de la librería MODBUS dentro de LabVIEW. 102
Figura 43.- Esquema de conexión de la librería TCP Open Connection Function. 102
Figura 44.- Librería MODBUS en modo lectura más las etapas de conversión y descomposición de valores para la BTC 9300. 103
Figura 45.- Conversión de datos leídos. 104
Figura 46.- Uso de la librería de descomposición de array para la BTC 9300. 105
Figura 47.- Librería MODBUS en modo escritura de datos al BTC 9300. 106
Figura 48.- Conversión de escritura de datos. 107
Figura 49.- Librería MODBUS en modo lectura más la etapa de descomposición de valores DAIO. 108
Figura 50.- Descomposición de valores de array 109
Figura 51.- Esquema de control de ejecución de procesos concretos. 109
Figura 52.- Control del proceso de llenado. 110
Figura 53.- Control del proceso de cocción. 111
Figura 54.- Control del proceso de vaciado. 111
Figura 55.- Conexión de red BTC-9300 al PC. 112
Figura 56.- Ubicación del programa Modicon Ethernet. 112
Figura 57.- Acceso a configuración Modicon Ethernet. 113
Figura 58.- Cuadro de configuración MBNET. 113
Figura 59.- Ubicación del programa Intouch. 114
Figura 60.- Creación de nombres del acceso desde Intouch para la BTC-9300. 114
Figura 61.- Creación del acceso al controlador BTC-9300. 115
Figura 62.- Conexión de red DAIO al PC. 115
Figura 63.- Creación de un proyecto en Panel Studio para configurar el OPC Server. 116
Figura 64.- Configuración del OPC Modbus TCP. 116
Figura 65.- Ubicación del menú "Device" dentro del OPC Modbus TCP. 117
Figura 66.- Configuración OPC Modbus TCP para la tarjeta DAIO. 117
Figura 67.- Ubicación del menú Data Item del OPC Modbus TCP. 118

Figura 68.- Creación de la variable TEMP_PV dentro del OPC Modbus TCP. 118
Figura 69.- Creación de la variable TEMP_SV dentro del OPC Modbus TCP. 119
Figura 70.- Ubicación del programa OPCLink. 120
Figura 71.- Ubicación del menú "Topic Definition" dentro del OPCLink. 120
Figura 72.- Configuración de la tarjeta DAIO en el OPCLink. 121
Figura 73.- Ubicación del programa Intouch. 121
Figura 74.- Creación de nombres del acceso desde Intouch para la DAIO. 122
Figura 75.- Creación del acceso a la DAIO. 122
Figura 76.- Diagrama de conexión recomendado por el fabricante para la DAIO. 124
Figura 77.- Diagrama de conexión recomendado por el fabricante de BTC-9300. 125

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Funciones básicas y códigos de operación del protocolo MODBUS. 45
Tabla 2.- Diferencias técnicas de HMI BrainChild vs Simatic 55
Tabla 3.- Diferencias técnicas de Controladores Wattlo, Coel, Omrom y BrainChild. 57
Tabla 4.- Diferencias técnicas de Termostatos BrainChild, IMT, Sick, Endress+ Hauser. ... 58
Tabla 5.- Características pantalla HMI-450. 60
Tabla 6.- Características del PC-E Ethernet, Rev. 2010 62
Tabla 7.- Características del controlador BTC-9300. 67
Tabla 8.- Normas IP de protección para equipos industriales. 68
Tabla 9.- Registros de direcciones BTC-9300. 68
Tabla 10.- Características técnicas del módulo DAIO. 74
Tabla 11.- Configuración de switch en el módulo DAIO. 75
Tabla 12.- Registros de direcciones DAIO. 77
Tabla 13.- Características del platino vs otros materiales. 78
Tabla 14.- Características del sensor PT-100. 78
Tabla 15.- Comparación de características de Software SCADA. 86
Tabla 16.- Cuadro técnico de comparación de controladores. 87
Tabla 17.- Cuadro técnico de comparación de tarjetas DAIO+PC-E. 87
Tabla 18.- Cuadro técnico de comparación de HMI 87
Tabla 19.- Cuadro técnico de comparación de software SCADA 88
Tabla 20.- Comparación de redes industriales. 90
Tabla 21.- Configuración de DIP Switch del BTC-9300. 92
Tabla 22.- Configuración de parámetros básicos del BTC-9300. 93
Tabla 23.- Características de comunicación RS-485 real (ciudad de Lasso) con lo implementado en la presente tesis. 124
Tabla 24.- Valores obtenidos de pruebas reales. 125
Tabla 25.- Comparación de conexiones reales entre dispositivos. 126

PRESENTACIÓN

El presente trabajo de tesis consistió en desarrollar software HMI SCADA e implementar sobre un módulo didáctico autónomo de la empresa ECUAINSETEC Cia. Ltda. que consta de los siguientes capítulos.

El primer capítulo hace un repaso a la actualidad de la empresa auspiciante, la importancia, objetivos y alcance de la tesis.

El segundo capítulo está dedicado a la conceptualización teórica de Sistemas HMI/SCADA, protocolos de comunicación, RS-485, Modbus y OPC.

El capítulo tres analiza la factibilidad específica de los problemas planteados y de las mejores alternativas de solución en hardware y en software.

El capítulo cuatro es la memoria técnica del desarrollo e implementación de la solución más óptima para la necesidad planteada en la tesis.

El capítulo cinco, se realiza la validación a través de pruebas funcionales del módulo didáctico autónomo.

El capítulo seis recoge las conclusiones y recomendaciones más relevantes.

RESUMEN

Durante el trabajo de ventas en la empresa ECUAINSETEC Cia. Ltda. se evidenció la dificultad de obtener citas con los cliente para poder informarles de la gama de productos de la empresa.

En base de la experiencia de otras empresas de diferentes áreas comerciales, en las cuales la metodología de ventas se basa en mostrar al usuario un producto terminado, tangible y que lo puede probar. Se planteó que debería existir un equipo que permita mostrar los productos de la empresa auspiciante de la tesis hacia sus clientes y que facilite el proceso de acercamiento y venta.

Apoyados en los valiosos conocimientos adquiridos durante la permanencia estudiantil en esta prestigiosa universidad, se planteó como tema de tesis: "**DESARROLLO DE SOFTWARE HMI/SCADA E IMPLEMENTACIÓN SOBRE UN MÓDULO DIDÁCTICO AUTÓNOMO PARA VENTAS DE LA EMPRESA ECUAINSETEC CIA. LTDA.".**

El módulo que se planteó construir está compuesto de:

- MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS
- MÓDULO DE COMUNICACIÓN
- MÓDULO DE VISUALIZACIÓN

Como punto de partida se seleccionaron minuciosamente los equipos y software que se empleó, de tal forma garantizar economía, funcionalidad y soporte, dando prioridad a los equipos propios, quedando seleccionado lo siguiente:

- MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS
    - Tarjeta DAIO de la marca BrainChild
    - Conversor de protocolo PC-E de la marca BrainChild
    - Controlador BTC9300 de la marca BrainChild
    - Sensor de temperatura PT100

- MÓDULO DE COMUNICACIÓN
    - Protocolo de campo Modbus RTU sobre red RS-485
    - Protocolo de aplicación Modbus TCP sobre red Ethernet
- MÓDULO DE VISUALIZACIÓN
    - Pantalla HMI de la marca BrainChild
    - Sistema SCADA, software LabVIEW de la marca National Instruments.
    - Sistema SCADA, software Intouch de la marca Wonderware.

A continuación se emprendió con el proceso de construcción e implementación, al cual se le dedicó valiosas horas de investigación, prueba, documentación y validación.

Con toda la perseverancia, minuciosidad y esfuerzo se culminó con un producto de gran valor comercial y excelente calidad que se puso a disposición de la empresa auspiciante.

El provecho que se ha obtenido de usar este nuevo instrumento de ventas, le ha permitido a ECUAINSETEC hasta el momento incrementar su productividad en un 5% medido a través de su sistema de gestión comercial en el segundo trimestre del año 2012[1]. Si mencionamos que esta empresa factura alrededor de $450.000 mensuales, estamos hablando de un beneficio de alrededor de $22.500 por incremento de ventas.

[1] Datos Sistema CRM, KOINOR ECUAINSETEC.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

ECUAINSETEC Cía. Ltda. con su oficina principal en la ciudad de Quito y sucursales en Guayaquil, Cuenca, Manta, consolida las operaciones efectuadas por INSETEC Cía. Ltda. Durante los 20 años de su servicio. Nace con el objetivo de especializarse en la comercialización de productos de marcas con reconocido prestigio y garantía internacional para procesos de automatización industrial.

De esta manera brinda de forma renovada asesoría y soporte técnico a la vanguardia de los cambios del mercado industrial. Contando con una nueva imagen corporativa, página web funcional y con un personal experimentado en: montajes, desarrollo de aplicaciones, programación de sistemas de control, servicio técnico y capacitación.

ECUAINSETEC Cía. Ltda. tiene la representación exclusiva de marcas como FESTO, WAGO, SICK , BRAINCHILD, BÜRKERT con la finalidad de apoyar a diversas industrias con productos de alta calidad en la automatización de procesos, incremento de la productividad, en el control y mejora de la calidad, en seguridad industrial, en el cumplimiento de las normas de regulación de control del medio ambiente, entre otras. Manteniendo la misma filosofía de responsabilidad y transparencia de INSETEC, la empresa, no solo ofrece una amplia gama de productos, sino también diferentes servicios con alternativas para que el cliente obtenga la solución más beneficiosa aplicable a los diferentes sectores industriales como:

- Alimenticio Metalmecánico.
- Petrolero Bebidas.
- Farmacéutico Pulpa y papel.
- Maderera Textil.
- Automotriz Avícola.
- Hormigonero Generación eléctrica.
- Cemento Agua potable y tratamiento de aguas residuales.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante el proceso de venta de equipos de automatización se requiere realizar demostraciones de la eficiencia y versatilidad de los productos ofertados durante visitas a las plantas de producción. En este ámbito la empresa auspiciante de este tema de titulación requiere el desarrollo e implementación de un módulo autónomo que permita exponer al cliente el funcionamiento completo de los equipos y el software asociado.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un software HMI SCADA e implementar en un módulo didáctico autónomo para ventas de la empresa ECUAINSETEC Cía. Ltda. que muestra el proceso de adquisición y monitorización de datos de una línea de productos destinado a la exposición para diferentes empresas que utilizan procesos HMI/SCADA.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer a fondo los procesos de ECUAINSETEC Cía. Ltda. sobre el manejo de módulos didácticos y desarrollar una solución acorde a los conceptos básicos de Sistemas HMI/SCADA para satisfacer la demanda de la empresa y aplicar al módulo didáctico.
- Usar sistemas HMI/SCADA, autómatas programables y módulos extensibles con los equipos necesarios, usando para esto los recursos con la mejor relación PRECIO-BENEFICIO. Identificar con un análisis de las variables a medir y los márgenes de error aceptables la mejor técnica de medición.
- Construir y diseñar un equipo portable de adquisición de datos para ser usada como medio didáctico y de ventas durante la visita a las planta de producción, usando sensores, actuadores, controladores y otros sistemas de adquisición de datos.

- Determinar y desarrollar en el software más conveniente una implementación de usuario que permita la monitorización, registro, adquisición y almacenamiento de las variables adquiridas por el hardware.
- Elaborar el manual de usuario del manejo de todo el proceso HMI/SCADA de dicho módulo didáctico. Documentar el proceso de implementación y pruebas efectuadas a fin de validar la efectividad del software desarrollado y el hardware implementado, además determinar el costo del proyecto para un prototipo y para su fabricación en serie, con el propósito de documentar la viabilidad de su distribución comercial.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de la presente tesis tuvo la finalidad de fomentar el desarrollo tecnológico de una forma eficiente pero a un costo razonable ajustado a la realidad económica e implementar los conocimientos adquiridos durante la permanencia en la universidad, específicamente en el área de control y automatización industrial, conocimientos que se aplican en la vida real en la industria ecuatoriana, además de la accesibilidad que se tiene a los equipos industriales que ECUAINSETEC provee.

Una de las empresas que aplica el control y automatización industrial en el país es ECUAINSETEC Cía. Ltda. en la cual se evidenció la necesidad de difundir a sus clientes los productos que representan, con demostraciones directamente en planta. Se ha observado que muchos clientes no disponen del tiempo para trasladarse a las oficinas.

Los avances de conocimiento técnico requieren difusión y uso práctico, en un ambiente agradable para todos los participantes que les permita adquirir nuevos conocimientos en el área.

Para balancear la relación utilidad-precio se requirió un trabajo minucioso de investigación y desarrollo e identificar el equipo más óptimo al precio más justo, por esta razón de complejidad se requirió la labor conjunta de al menos dos participantes.

1.5 ALCANCE

Este sistema simula el control de un lazo cerrado y está compuesto por los siguientes módulos:

1.5.1 MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

- Integra un módulo DAIO de entradas y salidas, digitales y análogas sobre una red MODBUS RS-485.
- Integra una señal de temperatura y una señal de entrada de 4 a 20 mA.

1.5.2 MÓDULO DE COMUNICACIÓN

- Integra la red de equipos de campo (controlador, DAIO) de la red Modbus RS-485 sobre un protocolo Modbus RTU, hacia un protocolo de supervisión (HMI, SCADA) llamado Modbus TCP.

1.5.3 MÓDULO DE VISUALIZACIÓN

- Visualiza la variable del proceso y el valor de consigna en un HMI/SCADA.
- Grafica la información adquirida en el HMI y en el SCADA.
- Permite la modificación del valor de consigna desde el HMI o SCADA.
- El SCADA está desarrollado en dos lenguajes de programación, los cuales fueron seleccionados durante el proceso de análisis e investigación. Los programas que se analizaron fueron: Intouch, LabVIEW, Lookout.

El paso final fue su construcción y validación sobre un módulo didáctico de ventas de la empresa auspiciante.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 SISTEMAS HMI/SCADA

2.1.1 SISTEMAS HMI

La sigla HMI[2] es la abreviación en ingles de Interfaz Hombre Máquina. Los sistemas HMI podemos pensarlos como una "ventana" de un proceso. Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora. Los sistemas HMI en computadoras se los conoce también como software HMI (en adelante HMI) o de monitorización y control de supervisión. Las señales del procesos son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en la computadora, PLC's (Controladores lógicos programables), RTU (Unidades remotas de I/O) o DRIVE's (Variadores de velocidad de motores). Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI.

2.1.1.1 FUNCIONES[3]

Monitorización: Es la habilidad de obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos que permitan una lectura más fácil de interpretar.

Supervisión: Esta función permite junto con la monitorización la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.

Alarmas: Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportarlo estos eventos. Las alarmas son reportadas basadas en límites de control preestablecidos.

Control: Es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites. Control va más allá del control de supervisión removiendo la necesidad de la interacción humana. Sin embargo la aplicación de esta función desde un software corriendo en una PC puede quedar limitada por la confiabilidad que quiera obtenerse del sistema.

[2] De aquí en adelante nos referiremos como HMI

[3] Introducción a HMI: http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf

Históricos: Es la capacidad de muestrear y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. Este almacenamiento de datos es una poderosa herramienta para la optimización y corrección de procesos.

2.1.1.2 TIPOS

- Desarrollos a medida. Se desarrollan en un entorno de programación gráfica como VC++, Visual Basic, Delphi, etc.
- Paquetes enlatados HMI. Son paquetes de software que contemplan la mayoría de las funciones estándares de los sistemas SCADA. Ejemplos son FIX, WinCC, Wonderware, etc.

2.1.2 SISTEMAS SCADA

Los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition) son aplicaciones de software, diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia. Se basan en la adquisición de datos de los procesos remotos[4].

Se trata de una aplicación de software, especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde una computadora. Además, envía la información generada en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa, es decir, que permite la participación de otras áreas como por ejemplo: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

Cada uno de los items de SCADA involucran muchos subsistemas, por ejemplo, la adquisición de los datos puede estar a cargo de un PLC (Controlador Lógico Programable) el cual toma las señales y las envía a las estaciones remotas usando un protocolo determinado, otra forma podría ser que una computadora realice la adquisición vía un hardware especializado y luego esa información la transmita hacia un equipo de radio vía su puerto serial, y así existen muchas otras alternativas[5].

[4] SCADA: http://www.advance-nt.com/home/interior.asp?cve_sub=21
[5] Software SCADA: http://www.andeswireless.com/w_productos.php?pagina=2&menu=12

Las tareas de Supervisión y Control generalmente están más relacionadas con el software SCADA, en él, el operador puede visualizar en la pantalla del computador de cada una de las estaciones remotas que conforman el sistema, los estados de ésta, las situaciones de alarma y tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano, la comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

Estos sistemas actúan sobre los dispositivos instalados en la planta, como son los controladores, autómatas, sensores, actuadores, registradores, etc. Además permiten controlar el proceso desde una estación remota, para ello el software brinda una interfaz gráfica que muestra el comportamiento del proceso en tiempo real.

Generalmente se vincula el software al uso de una computadora o de un PLC, la acción de control es realizada por los controladores de campo, pero la comunicación del sistema con el operador es necesariamente vía computadora. Sin embargo el operador puede gobernar el proceso en un momento dado si es necesario.

Un software SCADA debe ser capaz de ofrecer al sistema:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de datos históricos de las señale de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso anular o modificar las tareas asociadas al autómata, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador.

Existen diversos tipos de sistemas SCADA dependiendo del fabricante y sobre todo de la finalidad con que se va a hacer uso del sistema, por ello antes de decidir cuál es el más adecuado hay que tener presente si cumple o no ciertos requisitos básicos:

- Todo sistema debe tener arquitectura abierta, es decir, debe permitir su crecimiento y expansión, así como deben poder adecuarse a las necesidades futuras del proceso y de la planta.
- La programación e instalación no debe presentar mayor dificultad, debe contar con interfaces gráficas que muestren un esquema básico y real del proceso.
- Deben permitir la adquisición de datos de todo equipo, así como la comunicación a nivel interno y externo (redes locales y de gestión).
- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables para el usuario.

2.1.2.1 FUNCIONES[6]

Supervisión remota de instalaciones y equipos: Permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones y los equipos alojados en la planta, lo que permite dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas.

Control remoto de instalaciones y equipos: Mediante el sistema se puede activar o desactivar los equipos remotamente (por ejemplo abrir válvulas, activar interruptores, prender motores, etc.), de manera automática y también manual. Además es posible ajustar parámetros, valores de referencia, algoritmos de control, etc.

Procesamiento de datos: El conjunto de datos adquiridos conforman la información que alimenta el sistema, esta información es procesada, analizada, y comparada con datos anteriores, y con datos de otros puntos de referencia, dando como resultado una información confiable y veraz.

Visualización gráfica dinámica: El sistema es capaz de brindar imágenes en movimiento que representen el comportamiento del proceso, dándole al operador la impresión de estar presente dentro de una planta real. Estos gráficos también pueden corresponder a curvas de las señales analizadas en el tiempo.

Generación de reportes: El sistema permite generar informes con datos estadísticos del proceso en un tiempo determinado por el operador.

Representación de señales de alarma: A través de las señales de alarma se logra alertar al operador frente a una falla o la presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable. Estas señales pueden ser tanto visuales como sonoras.

[6] SISTEMAS SCADA, Ing. Henry Mendiburu Díaz: http://www.galeon.com/hamd/pdf/scada.pdf

Almacenamiento de información histórica: Se cuenta con la opción de almacenar los datos adquiridos, esta información puede analizarse posteriormente, el tiempo de almacenamiento dependerá del operador o del autor del programa.

Programación de eventos: Esta referido a la posibilidad de programar subprogramas que brinden automáticamente reportes, estadísticas, gráfica de curvas, activación de tareas automáticas, etc.

2.1.2.2 TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN

Los sistemas SCADA necesitan comunicarse vía red, puertos GPIB, telefónica o satélite, es necesario contar con computadoras remotas que realicen el envío de datos hacia una computadora central, esta a su vez será parte de un centro de control y gestión de información.

Para realizar el intercambio de datos entre los dispositivos de campo y la estación central de control y gestión, se requiere un medio de comunicación, existen diversos medios que pueden ser cableados (cable coaxial, fibra óptica, cable telefónico) o no cableados (microondas, ondas de radio, comunicación satelital).

Cada fabricante de equipos para sistemas SCADA emplean diferentes protocolos de comunicación y no existe un estándar para la estructura de los mensajes, sin embargo existen estándares internacionales que regulan el diseño de las interfaces de comunicación entre los equipos del sistema SCADA y equipos de transmisión de datos.

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas y procedimientos que permite a las unidades remotas y central, el intercambio de información. Los sistemas SCADA hacen uso de los protocolos de las redes industriales.

La comunicación entre los dispositivos generalmente se realiza utilizando dos medios físicos: cable tendido, en la forma de fibra óptica o cable eléctrico, o radio. En cualquiera de los casos se requiere un MODEM, el cual modula y de modula la señal. Algunos sistemas grandes usan una combinación de radio y líneas telefónicas para su comunicación. Debido a que la información que se transmite sobre un

sistema SCADA debería ser pequeña generalmente la velocidad de transmisión de los modem suele ser pequeño. Muchas veces 300bps (bits de información por segundo) es suficiente. Pocos sistemas SCADA, excepto en aplicaciones eléctricas, suelen sobrepasar los 2400bps, esto permite que se pueda usar las líneas telefónicas convencionales, al no superar el ancho de banda físico del cable.[7]

2.1.2.3 COMUNICACIONES

En una comunicación deben existir tres elementos necesariamente:

- Un medio de transmisión, sobre el cual se envían los mensajes.
- Un equipo emisor que puede ser el MTU.
- Un equipo receptor que se puede asociar a los RTU´s.

En telecomunicaciones, el MTU y el RTU son también llamados Equipos terminales de datos (DTE, Data Terminal Equipments). Cada uno de ellos tiene la habilidad de generar una señal que contiene la información a ser enviada. Asimismo, tienen la habilidad para descifrar la señal recibida y extraer la información, pero carecen de una interfaz con el medio de comunicación.

Los módems, llamados también Equipo de Comunicación de Datos (DCE, Data Communication Equipment), son capaces de recibir la información de los DTE´s, hacer los cambios necesarios en la forma de la información, y enviarla por el medio de comunicación hacia el otro DCE, el cual recibe la información y la vuelve a transformar para que pueda ser leído por el DTE.

2.1.2.4 ELEMENTOS

Un sistema SCADA está conformado por:

Interfaz Operador Máquinas: Es el entorno visual que brinda el sistema para que el operador se adapte al proceso desarrollado por la planta. Permite la interacción del ser humano con los medios tecnológicos implementados.

Unidad Central (MTU): Conocido como Unidad Maestra. Ejecuta las acciones de mando (programadas) en base a los valores actuales de las variables medidas. La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel

[7] SISTEMAS SCADA, Ing. Henry Mendiburu Díaz: http://www.galeon.com/hamd/pdf/scada.pdf

(como C, Basic, etc.). También se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.

Unidad Remota (RTU): Lo constituye todo elemento que envía algún tipo de información a la unidad central. Es parte del proceso productivo y necesariamente se encuentra ubicada en la planta.

Sistema de Comunicaciones: Se encarga de la transferencia de información del punto donde se realizan las operaciones, hasta el punto donde se supervisa y controla el proceso. Lo conforman los transmisores, receptores y medios de comunicación.

Transductores: Son los elementos que permiten la conversión de una señal física en una señal eléctrica (y viceversa). Su calibración es muy importante para que no haya problema con la confusión de valores de los datos.

La RTU[8] es un sistema que cuenta con un microprocesador e interfaces de entrada y salida tanto analógicas como digitales que permiten tomar la información del proceso provista por los dispositivos de instrumentación y control en una localidad remota y, utilizando técnicas de transmisión de datos, enviarla al sistema central.

Un sistema puede contener varios RTUs; siendo capaz de captar un mensaje direccionado hacia él, decodificando lo actuando, respondiendo si es necesario, y esperar por un nuevo mensaje.

La MTU[9], bajo un software de control, permite la adquisición de la data a través de todas las RTUs ubicadas remotamente y brinda la capacidad de ejecutar comandos de control remoto cuando es requerido por el operador.

Normalmente el MTU cuenta con equipos auxiliares como impresoras y memorias de almacenamiento, las cuales son también parte del conjunto MTU.

En muchos casos el MTU debe enviar información a otros sistemas o computadoras. Estas conexiones pueden ser directas y dedicadas o en la forma de una red LAN.

[8] RTU: Unidad terminal remota
[9] MTU: Unidad terminal Maestra o Central

La conexión entre el RTU y los dispositivos de Campo es muchas veces realizados vía conductor eléctrico. Usualmente, el RTU provee la potencia para los actuadores y sensores, y algunas veces éstos vienen con un equipo de soporte ante falla en la alimentación de energía (UPS, uninterruptible power supply)[10].

La data adquirida por la MTU se presenta a través de una interfaz gráfica en forma comprensible y utilizable, y más aún esta información puede ser impresa en un reporte.

2.1.2.5 PERÍODO DE ESCANEO

Uno de los aspectos importantes que debe ser considerado es el tiempo de escaneo de los RTU´s por el MTU, que se define como el tiempo que demora el MTU en realizar una comunicación con cada uno y todos los RTU´s del sistema. Uno de los factores que determina el tiempo de escaneo es el número de RTU´s, en general a mayor número de RTU´s mayor el tiempo de escaneo. Un segundo factor a ser considerado es la cantidad de datos a ser transmitido el cual puede variar entre un par de estados a cientos de estados lo cual incrementa el tiempo de escaneo. Otro factor importante es el número de bits por segundo que puede soportar el medio de transmisión el cual determina el material del medio y el tipo de modulación.

Así como el MTU busca y encuentra cada RTU, el RTU busca y encuentra cada sensor y actuador a los cuales está conectado. Esta búsqueda se realiza a mucha mayor velocidad del MTU hacia los RTU.

2.1.2.6 DISPOSITIVOS DE CAMPO Y CABLEADO

Los dispositivos de campo con los que se dispone en un sistema SCADA son de diversos tipos y en cada uno de ellos existen parámetros de selección, desde el rango de trabajo, precisión, dimensiones, precio, etc., los cuales hacen que cada sistema sea un caso particular aunque todos ellos tienen siempre características comunes[11].

[10] SISTEMAS SCADA, Ing. Henry Mendiburu Díaz: http://www.galeon.com/hamd/pdf/scada.pdf
[11] SISTEMAS SCADA, Ing. Henry Mendiburu Díaz: http://www.galeon.com/hamd/pdf/scada.pdf

Un detalle que a veces no se toma en cuenta es que los sensores actuadores y el cableado entre ellos también cuestan, generalmente cuestan tres o cuatro veces más que el RTU mismo, UPS, y equipos de comunicaciones para un lugar determinado.

Otro punto importante es que un sensor cuya lectura puede ser leída directamente por el operador humano, generalmente cuesta menos que un sensor cuya lectura debe ser leído por un RTU, esto es sencillamente por el sistema de acondicionamiento que debe ser usado.

Aún más, un costo adicional debe ser incorporado por el cableado de los equipos hacia el RTU. Alambre de cobre es usado generalmente, porque las señales son generalmente de bajo voltaje. En muchas aplicaciones, un blindaje debe ser adicionado sobre el hilo de cobre para prevenir interferencia electromagnética o ruido sobre la señal. Esto generalmente se manifiesta como un recubrimiento de PVC flexible sobre los conductores.

Generalmente los dispositivos de campo no suelen tener borneras suficientes como para poder realizar todos los empalmes necesarios para el funcionamiento del sistema, deben utilizarse cajas de paso o cajas terminales donde se pueden realizar las uniones de los puntos que se desean empalmar.

Muchas veces los cables deben llegar al RTU y salir de él, en ese caso siempre se tiene un tablero de conexiones cerca al equipo que puede incluir pequeños elementos de mando y supervisión como displays, pulsadores, leds indicadores e inclusive albergar otros dispositivos como fuentes y dispositivos de protección y control auxiliar.

Todos estos dispositivos deben estar debidamente documentados. Esto se realiza mediante planos y manuales de instrucciones. Además todas las licencias, software y protocolos de operación deben ser adjuntados.

El costo de los trabajos de ingeniería puede llegar a representar el 50% del costo total del proyecto a diferencia de proyectos no automatizados donde puede llegar a 10% o 15%.

Los requerimientos de mantenimiento para un sistema SCADA no son muy diferentes de los requerimientos de mantenimiento de otra alta tecnología de sistemas de control. Los equipos de comunicación, módems, radio y drivers de protocolo no son la excepción. Calibración, validación, y servicio de estos equipos requieren equipo especial y entrenamiento de personal calificado. Este tipo de servicio suele ser muy especializado y uno debe prever este tipo de gastos de mantenimiento.

Los sensores y actuadores generalmente tienen un comportamiento en donde su eficiencia va disminuyendo con respecto al tiempo debido a efectos de desgaste y condiciones ambientales. El ingeniero debe prever la posibilidad de un control manual en caso de reemplazo del equipo para no interferir con el sistema.

En conclusión el mantenimiento de ésta clase de sistemas suele depender de la magnitud del proyecto pero en general se debe brindar un mantenimiento general regular una o dos veces al año mínimo, donde se verifiquen los parámetros de calibración, se realicen pruebas dinámicas y estáticas a los equipos y se observe el estado físico de los mismos.

2.1.3 FACILIDADES EN EL DISEÑO DE SISTEMAS HMI/SCADA

- Incorporan protocolos para comunicarse con los dispositivos de campo más conocidos. Drivers, OPC.
- Tienen herramientas para crear bases de datos dinámicas.
- Permiten crear y animar pantallas en forma sencilla.
- Incluyen gran cantidad de librería de objetos para representar dispositivos de uso en la industria como: motores, tanques, indicadores, interruptores, etc.

2.2 SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO.

Los DCS (Distributed Control Systems), surgieron en la década de los 70, concebidos inicialmente como reemplazos funcionales para la instrumentación

electrónica de panel. Inicialmente utilizaron visualizadores (displays) discretos de panel como sucedía con la instrumentación de entonces.

Anteriormente en los 70, se utilizaban los paneles analógicos para realizar todas las tareas de supervisión remota de los procesos; las necesidades de utilizar los recursos disponibles más eficiente e inteligentemente sin embargo, fueron las principales razones para buscar sistemas capaces de mejorar la competitividad de las empresas.

Los DCS, gracias a su desarrollo dentro de compañías de fabricación de sistemas de control avanzados, se han hecho comercialmente viables para el mejoramiento de la exactitud, operabilidad, habilidad computacional y lógica, estabilidad en la calibración, y facilidad de modificación de las estrategias de control.

2.2.1 EVOLUCIÓN

Los Sistemas de Control Distribuido (DCS) han estado evolucionando desde mediados de los 80, de ser esencialmente reemplazos de paneles de control a redes totalmente integradas a las operaciones de planta. Este progreso ha sido impulsado en parte por la revolución en la tecnología de los microprocesadores y el software y en parte por necesidades económicas.

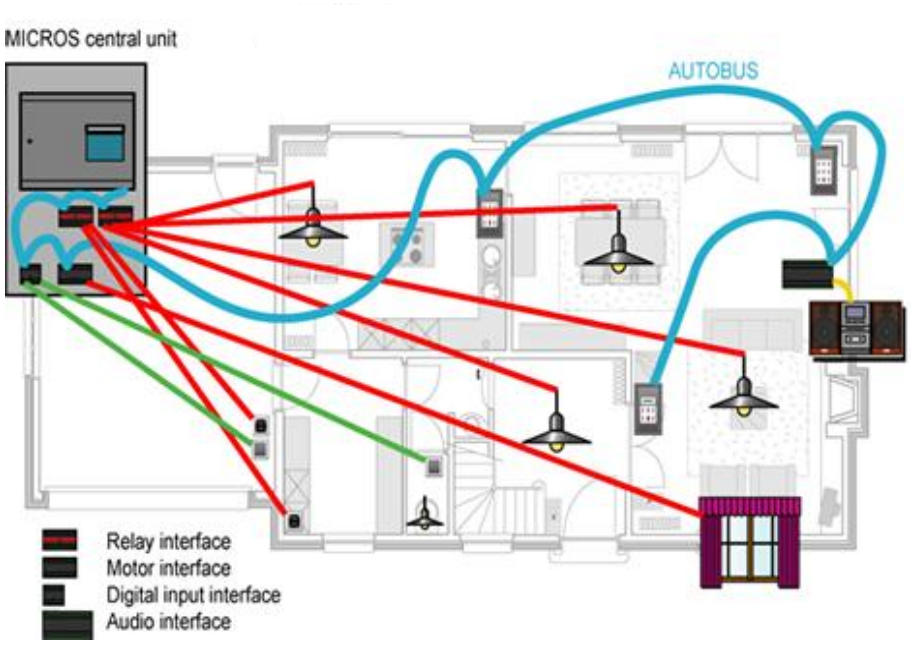


Figura 1.- DCS: Control Central. [12]

[12] Redes Industriales: http://es.scribd.com/doc/44611424/redes-industriales

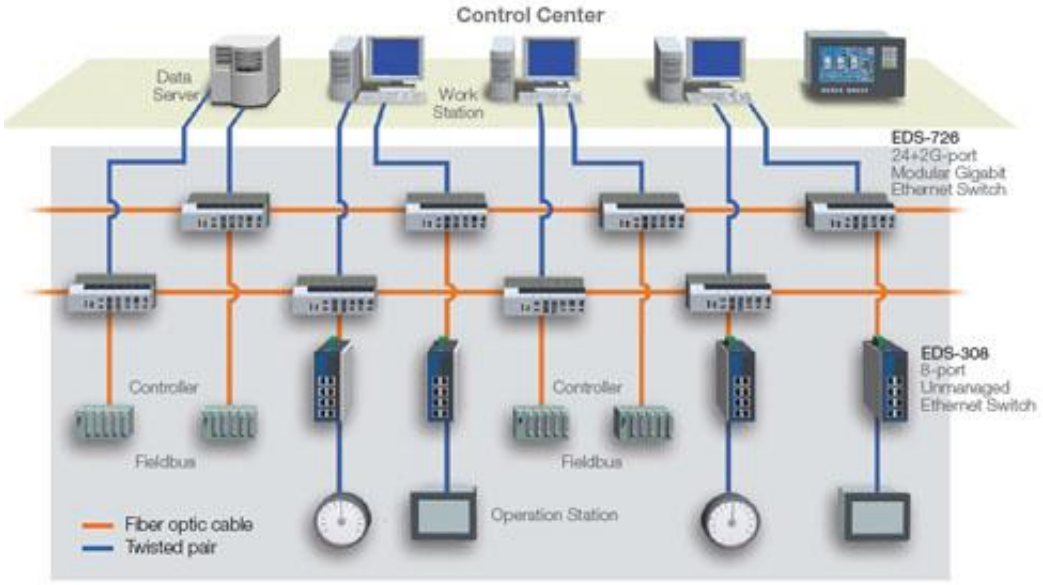


Figura 2.- DCS: Control Distribuido.[13]

2.2.2 COMPARACIÓN ENTRE UN SISTEMA CENTRALIZADO Y OTRO DISTRIBUIDO

Estos sistemas evolucionaron rápidamente, agregando estaciones de trabajo (workstations) basadas en vídeo y controladores compartidos, capaces de manejar complejas estrategias de control regulatorio y secuencial, conteniendo informaciones de elementos funcionales como controladores PID, totalizadores, temporizadores, circuitos lógicos, dispositivos de cálculo, etc.

Estos sistemas evolucionaron rápidamente, agregando estaciones de trabajo (workstations) basadas en vídeo y controladores compartidos, capaces de manejar complejas estrategias de control regulatorio y secuencial, conteniendo informaciones de elementos funcionales como controladores PID, totalizadores, temporizadores, circuitos lógicos, dispositivos de cálculo, etc.

Durante esos años, la industria de los computadores personales con la aparición del DOS como estándar dio lugar al desarrollo de paquetes de software cada vez de mayor calidad y menor costo que enriquecieron (y lo siguen haciendo hoy en día) las posibilidades de los DCS, incluyendo:

[13] Redes Industriales: http://es.scribd.com/doc/44611424/redes-industriales

- Manejo de base de datos relacional.
- Paquetes de hoja de cálculo.
- Capacidad de control estadístico de procesos.
- Sistemas expertos.
- Simulación de procesos por computadora.
- Diseño asistido por computador.
- Utilitarios de escritorio.
- Manejo de pantallas orientado al objeto.
- Estaciones de trabajo orientadas a Windows (ventanas).
- Intercambio de información con otras plantas.

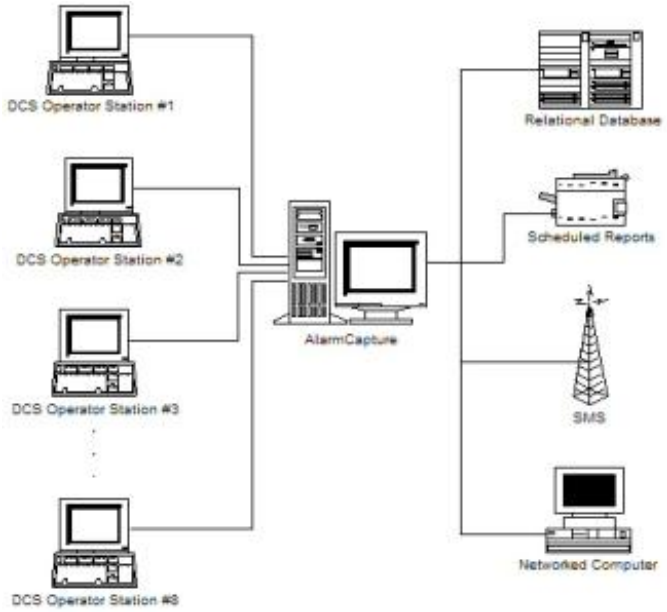


Figura 3.- Diagrama esquemático de la arquitectura del sistema TDC 2000 de la firma Honeywell.[14]

Hacia fines de los 80 y comienzos de los 90, el desarrollo de los sistemas en red permitió una mayor cohesión entre el software y las comunicaciones, lográndose sistemas integrados con estándares:

- Sistemas operativos abiertos, tales como UNIX.
- Modelo de comunicaciones OSI.
- Modelo computacional cliente-servidor.
- Protocolos de comunicación entre workstations (estaciones de trabajo).

[14] Introducción a los Sistemas de Control Distribuido DCS, José Carlos Villajulca: http://www.instrumentacionycontrol.net/es/curso-redes-industriales/287-introduccion-a-los-sistemas-de-control-distribuido-dcs

- Sistemas de manejo de base de datos relacional distribuidos.
- Programación orientada al objeto.
- Ingeniería de software asistida por computador.

2.2.3 ARQUITECTURA

Los DCS se están transformando en plataformas computacionales distribuidas con suficiente rendimiento para soportar aplicaciones en tiempo real de gran escala y escalables para direccionar aplicaciones de unidades pequeñas. Los estándares de sistemas abiertos están permitiendo a los DCS el recibir información de diversos conjuntos de plataformas computacionales similarmente compatibles, incluyendo negocios, información de laboratorio, mantenimiento y otros sistemas de planta, así como dar información a estos sistemas para apoyo de múltiples aplicaciones.

Los DCS tradicionalmente están organizados en cinco grandes subsistemas: estaciones de trabajo de operaciones, subsistemas de control, subsistemas de recolección de datos, subsistemas computacionales de procesos y redes de comunicación.

2.3 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

2.3.1 INTRODUCCIÓN

En principio un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas que permiten la transferencia e intercambio de datos entre los distintos dispositivos que conforman una red. Estos han tenido un proceso de evolución gradual a medida que la tecnología electrónica ha avanzado y muy en especial en lo que se refiere a los microprocesadores[15].

Un importante número de empresas en nuestro país presentan la existencia de células de trabajo sin comunicación entre sí, siendo en estos casos las redes y los protocolos de comunicación industrial indispensables para realizar un enlace entre las distintas etapas que conforman el proceso.

[15] PROTOCOLOS DE COMUNICACIONES INDUSTRIALES: http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/articulos/agosto-06.pdf

La irrupción de los microprocesadores en la industria ha posibilitado su integración a redes de comunicación con importantes ventajas, entre las cuales figuran:

- Mayor precisión derivada de la integración de tecnología digital en las mediciones.
- Mayor y mejor disponibilidad de información de los dispositivos de campo
- Diagnóstico remoto de componentes.

La integración de las mencionadas islas automatizadas suele hacerse dividiendo las tareas entre grupos de procesadores jerárquicamente anidados. Esto da lugar a una estructura de redes industriales.

2.3.2 REDES INDUSTRIALES

El desarrollo de las comunicaciones, y su aplicación a la industria, ha permitido la implantación de redes industriales que facilitan la comunicación entre estas islas automatizadas, aumentando el rendimiento y las posibilidades en el control.

Entre las innumerables ventajas de las redes industriales, se puede destacar las siguientes:

- Visualización y supervisión de todo el proceso productivo.
- Mayor velocidad en la toma de datos.
- Mejora del rendimiento del proceso al realizar el control en su conjunto.
- Posibilidad de intercambio de datos entre diferentes sectores del proceso y departamentos.
- Posibilidad de programación y control a distancia sin tener que estar en campo (teleproceso).

Dependiendo del tipo de instalación, la implantación de una red de comunicaciones industrial puede ser o no rentable, lo que obliga a un estudio previo antes de su utilización.

2.3.2.1 NIVELES[16]

La integración de los diferentes equipos y dispositivos existentes en una planta se hace dividiendo las tareas entre grupos de procesadores con una organización jerárquica. Así, dependiendo de la función y el tipo de conexiones, se suelen distinguir cuatro niveles en una red industrial:

Nivel de entrada/salida: es el nivel más próximo al proceso. Aquí es donde encontramos las máquinas con las que opera la empresa, y con ellas, todos los sensores y actuadores para la toma de medidas y realización de acciones de control sobre el proceso.

Nivel de campo y proceso: integra pequeños automatismos (PLC's compactos, PID's, multiplexores de e/s, etc.) en subredes o 'islas'. En el nivel más alto de estas redes podemos encontrar uno o varios autómatas modulares actuando como maestros de la red o maestros flotantes. En este nivel se emplean los buses de campo.

Nivel de control: enlaza las células de fabricación o zonas de trabajo. A este nivel se sitúan los autómatas de gama alta y los ordenadores dedicados al diseño, control de calidad, programación, etc. En este nivel es donde se suelen emplear las redes de tipo LAN (MAP o Ethernet).

Nivel de gestión: es el nivel más alto y se encarga de integrar los siguientes niveles en una estructura de fábrica o varias fábricas. Se suelen emplear estaciones de trabajo que establecen la conexión entre el proceso productivo y la gestión (ventas, stocks, etc.). Las redes empleadas son de tipo LAN o WAN (para plantas situadas en diferentes lugares).

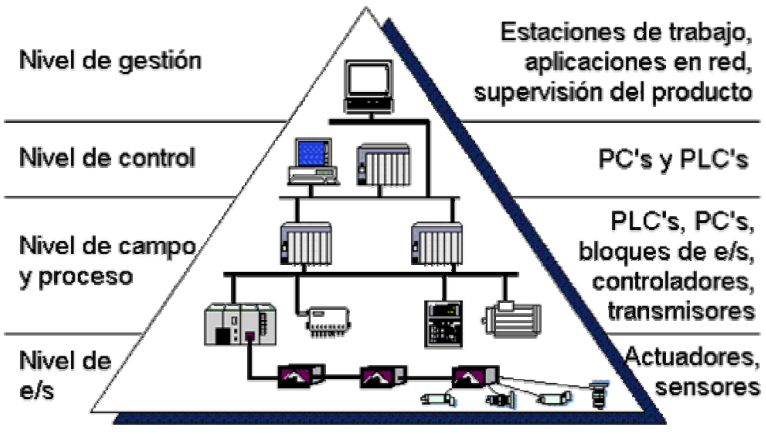

Nivel de gestión
Estaciones de trabajo, aplicaciones en red, supervisión del producto
Nivel de control
PC's y PLC's
Nivel de campo y proceso
PLC's, PC's, bloques de e/s, controladores, transmisores
Nivel de e/s
Actuadores, sensores

Figura 4.- Niveles de una red industrial.[17]

[16] REDES DE COMUNICACIONES INDUSTRIALES, Ing. Gustaf Dimitri Pulido Álvarez: http://www.upbmonteria.edu.co/electronica/gapa/descargas/Tercer%20Congreso%20Unipamplona/comunicaciones_industriales.pdf

Esta estructura no es universal, varía con el tamaño del proceso y sus características particulares. Además, para cualquiera de los niveles, no hay un estándar universalmente aceptado que cubra todos los aspectos desde el nivel físico al de aplicación (si se refiere al modelo OSI de ISO).

Las redes industriales las podemos agrupar en tres categorías, buses de campo, LAN y LAN-WAN, dentro de las cuales se analiza los buses de campo.

2.3.3 BUSES DE CAMPO

Los buses que permiten la integración de equipos para la medición y control de variables de proceso, reciben la denominación genérica de buses de campo.

Un bus de campo es un sistema de transmisión de información (datos) que simplifica enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción.

El objetivo de un bus de campo es sustituir las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control a través del tradicional lazo de corriente de 4 -20mA o 0 a 10V DC, según corresponda. Generalmente son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo como PLC's, transductores, actuadores, sensores y equipos de supervisión[18].

Varios grupos han intentado generar e imponer una norma que permita la integración de equipos de distintos proveedores. Sin embargo, hasta la fecha no existe un bus de campo universal.

A continuación, se presentan los buses de campo de más utilización en la actualidad y sus principales características:

---

[17] REDES DE COMUNICACIONES INDUSTRIALES, Ing. Gustaf Dimitri Pulido Álvarez: http://www.upbmonteria.edu.co/electronica/gapa/descargas/Tercer%20Congreso%20Unipamplona/comunicaciones_industriales.pdf

[18] REDES LOCALES EN ENTORNOS INDUSTRIALES: Buses de Campo: http://www.isa.uniovi.es/docencia/redes/Apuntes/tema9.pdf

2.3.3.1 PROFIBUS

Es un bus de campo impulsado por fabricantes alemanes:

- Estándar abierto bajo norma DIN 19.245.
- Variantes: Profibus DP, FMS y PA.
- Es un subjuego de MINIMAP (usada en niveles superiores con más prestaciones).
- Concreta bastante el nivel de aplicación.
- Utiliza topología en bus o árbol.
- Medio físico: RS-485, fibra óptica y enlaces módem y radio.
- Acceso al medio: Multimaestro (paso de testigo con maestro flotante).
- Fabricantes: Bosch, Siemens, ABB, AEG, Bauer, Danfoss, Endress + Hauser, etc.

2.3.3.2 ASi (Actuator Sensor Interface)

Desarrollado en común por once fabricantes de actuadores-sensores y sistemas de control y dos universidades con el objetivo de conseguir un sistema simple, seguro y rápido capaz de utilizar par trenzado no blindado:

- Sistema abierto.
- Topología en árbol, estrella o bus. Posibilidad de derivaciones, que no necesitan terminadores.
- Acceso al medio: Maestro-esclavo.
- Longitud máxima 100m (hasta 300 con repetidores).
- Cable normalizado 2x2,5 mm2 de potencia o 2x1,5mm2 plano tipo ASi, que permite conexionado directo con tomas de tipo vampiro.
- Velocidad de transmisión de 167 Kbps.
- Datos transmitidos digitalmente por modulación sobre la corriente de alimentación.
- Muy utilizado en conjunto con Profibus DP para instalaciones industriales.
- Fabricantes: asociación ASi con más de 160 fabricantes (Siemens, Scheneider Electric, Crouzet, Danfoss, Bürkert, etc.

2.3.3.3 BITBUS

Es una marca registrada por Intel:

- Cedido a dominio público: protocolo abierto.
- Alta velocidad y bajo coste.
- Cumple las normas de la IEC.
- Bus síncrono (con reloj o bien autorreloj NRZI), controlado por el microcontrolador 8044 (ASIC), basado en:
  - 8051 para la unidad de control.
  - SUART para comunicaciones.
  - ROM con las funciones del protocolo.
- Ventaja: la interfaz 8044 de bajo coste está disponible. Es la que gestiona completamente el protocolo. Existe software de aplicación.
- Inconvenientes: no recogido en ninguna norma internacional y ha tenido muy poca implantación.
- Fabricantes: Intel, Adicom, Analog Devices, Hitachi, Honeywell, Phoenix, Whesting House, etc.

2.3.3.4 HART

El protocolo HART (High way-Addressable Remote-Transducer) agrupa la información digital sobre la señal analógica típica de 4 a 20 mA DC. La señal digital usa dos frecuencias individuales de 1200 y 2200 Hz, que representan los dígitos 1 y 0 respectivamente y que en conjunto forman una onda sinusoidal que se superpone al lazo de corriente de 4-20 mA.

Como la señal promedio de una onda sinusoidal es cero, no se añade ninguna componente DC a la señal analógica de 4-20 mA., lo que permite continuar utilizando la variación analógica para el control del proceso.

2.3.3.5 FOUNDATION FIELDBUS

Foundation Fieldbus (FF) es un protocolo de comunicación digital para redes industriales, específicamente utilizado en aplicaciones de control distribuido. Puede comunicar grandes volúmenes de información, ideal para aplicaciones con varios

lazos complejos de control de procesos y automatización. Está orientado principalmente a la interconexión de dispositivos en industrias de proceso continuo.

Los dispositivos de campo son alimentados a través del bus Fieldbus cuando la potencia requerida para el funcionamiento lo permite.

2.3.4 RS-485

RS-485 o también conocido como EIA-485, que lleva el nombre del comité que lo convirtió en estándar en 1983. Es un estándar de comunicaciones en bus de la capa física del Modelo OSI.

Está definido como un sistema en bus de transmisión multipunto diferencial, es ideal para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias (35 Mbps hasta 10 metros y 100 Kbps en 1.200 metros) y a través de canales ruidosos, ya que reduce los ruidos que aparecen en los voltajes producidos en la línea de transmisión. El medio físico de transmisión es un par entrelazado que admite hasta 32 estaciones en 1 solo hilo, con una longitud máxima de 1.200 metros operando entre 300 y 19200 bps y la comunicación half-duplex (semidúplex). Soporta 32 transmisiones y 32 receptores. La transmisión diferencial permite múltiples drivers dando la posibilidad de una configuración multipunto. Al tratarse de un estándar bastante abierto permite muchas y muy diferentes configuraciones y utilizaciones.

La interfaz RS485 ha sido desarrollada analógicamente a la interfaz RS422 - para la transmisión en serie de datos de alta velocidad a grandes distancias y encuentra en creciente aplicación en el sector industrial. Pero mientras que la RS422 sólo permite la conexión unidireccional de hasta 10 receptores en un transmisor, la RS485 está concebida como sistema Bus bidireccional con hasta 32 participantes. Físicamente las dos interfaces sólo se diferencian mínimamente. El Bus RS485 puede instalarse tanto como sistema de 2 hilos o de 4 hilos.

Dado que varios transmisores trabajan en una línea común, tiene que garantizarse con un protocolo que en todo momento esté activo como máximo un transmisor de

datos. Los otros transmisores tienen que encontrarse en ese momento en estado ultra ohmio.

La norma RS485 define solamente las especificaciones eléctricas para receptores y transmisores de diferencia en sistemas de bus digitales. La norma ISO 8482 estandariza además adicionalmente la topología de cableado con una longitud máxima de 500 metros.

2.3.4.1 BUS DE 2 HILOS RS485

El Bus de 2 hilos RS485 se compone según el bosquejo inferior del cable propio de Bus con una longitud máxima de 500m. Los participantes se conectan a este cable a través de una línea adaptadora de máximo 5 m. de largo. La ventaja de la técnica de 2 hilos reside esencialmente en la capacidad multimaster, en donde cualquier participante puede cambiar datos en principio con cualquier otro. El Bus de 2 hilos es básicamente apto sólo semidúplex. Es decir puesto que sólo hay a disposición una vía de transmisión, siempre puede enviar datos un solo participante. Sólo después de finalizar el envío, pueden, por ejemplo, responder otros participantes. La aplicación más conocida basada en la técnica de 2 hilos es el PROFIBUS.

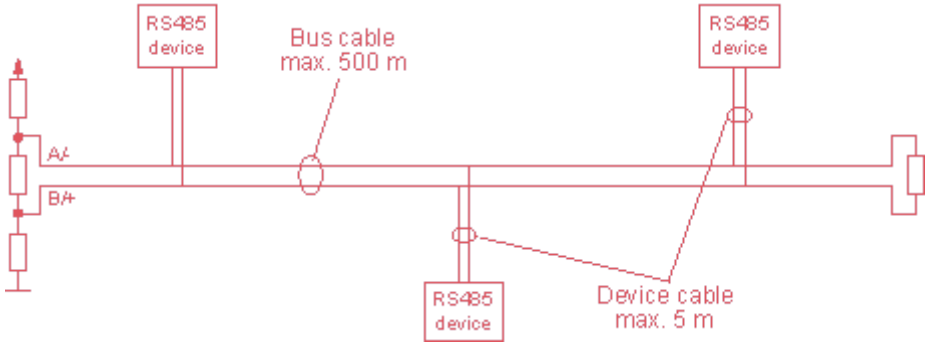


Figura 5.- Esquema de conexión RS-485 para un bus de 2 hilos.[19]

2.3.4.2 MÉTODO FÍSICO DE TRANSMISIÓN

Los datos en serie, como en interfaces RS422, se transmiten sin relación de masa como diferencia de tensión entre dos líneas correspondientes. Para cada señal a transmitir existe un par de conductores que se compone de una línea de señales invertida y otra no invertida. La línea invertida se caracteriza por regla general por el

[19] Protocolo RS485: http://www.pantallas-electronicas.es/index.php/es/maes-lejos-con-rs485.html

índice "A" o "-", mientras que la línea no invertida lleva "B" o "+". El receptor evalúa solamente la diferencia existente entre ambas líneas, de modo que las modalidades comunes de perturbación en la línea de transmisión no falsifican la señal útil. Los transmisores RS485 ponen a disposición bajo carga un nivel de salida de ±2V entre las dos salidas; los módulos de recepción reconocen el nivel de ±200mV como señal válida.

La asignación tensión de diferencia al estado lógico se define del modo siguiente:

A - B < -0,3V = MARK = OFF = Lógico 1 A - B > +0,3V = SPACE = ON = Lógico 0

2.3.4.3 LONGITUD DE LÍNEAS

Usando un método de transmisión simétrico en combinación con cables de pares de baja capacidad y amortiguación (twisted pair) pueden realizarse conexiones muy eficaces a través de una distancia de hasta 500m con ratios de transmisión al mismo tiempo altas. El uso de un cable TP de alta calidad evita por un lado la diafonía entre las señales transmitidas y por el otro reduce adicionalmente al efecto del apantallamiento, la sensibilidad de la instalación de transmisión contra señales perturbadoras entremezcladas.

En conexiones RS485 es necesario un final de cable con redes de terminación para obligar al nivel de pausa en el sistema de Bus en los tiempos en los que no esté activo ningún transmisor de datos.

2.3.4.4 PARTICULARIDADES

Aunque determinado para grandes distancias, entre las que por regla general son inevitables desplazamientos de potencial, la norma no prescribe para las interfaces RS485 ninguna separación galvánica. Dado que los módulos receptores reaccionan sensiblemente a un desplazamiento de los potenciales de masa, es recomendable necesariamente una separación galvánica para instalaciones eficaces, como se define en la norma ISO9549.

En la instalación tiene que cuidarse de la polaridad correcta de los pares de cables, puesto que una polaridad falsa lleva a una inversión de las señales de datos.

Especialmente en dificultades en relación con la instalación de nuevos terminales cada búsqueda de error debería comenzarse con el control de la polaridad del Bus.

Las mediciones de diferencia (medición Bus A contra B), especialmente con un osciloscopio, sólo pueden realizarse con un aparato de medición separado galvánicamente del potencial de masa. Muchos fabricantes ponen el punto de referencia de la entrada de medición en Masa, lo que lleva a un cortocircuito en la medición en un Bus RS485[20].

Otra particularidad a considerar consiste que en el extremo del bus es necesaria una resistencia de terminación de 120 Ω, para evitar reflexiones de señal, esto ocasionado debido a que el cableado recorre un ambiente ruidoso y hostil, como puede suceder en una instalación industrial.

2.3.5 MODBUS

2.3.5.1 INTRODUCCIÓN

La designación Modbus Modicon corresponde a una marca registrada por Gould Inc. Como en tantos otros casos, la designación no corresponde propiamente al estándar de red, incluyendo todos los aspectos desde el nivel físico hasta el de aplicación, sino a un protocolo de enlace (nivel OSI 2). Puede, por tanto, implementarse con diversos tipos de conexión física y cada fabricante suele suministrar un software de aplicación propio, que permite parametrizar sus productos.

2.3.5.2 ESTRUCTURA

Medio Físico: El medio físico de conexión puede ser un bus semidúplex (half duplex) (RS-485 o fibra óptica) (más arriba) o dúplex (full duplex) (RS-422, BC 0-20mA o fibra óptica).

[20] Protocolo RS485: http://www.pantallas-electronicas.es/index.php/es/maes-lejos-con-rs485.html

La comunicación es asíncrona y las velocidades de transmisión previstas van desde los 75 baudios a 19.200 baudios. La máxima distancia entre estaciones depende del nivel físico, pudiendo alcanzar hasta 1200 m sin repetidores.

Acceso al Medio: La estructura lógica es del tipo maestro-esclavo, con acceso al medio controlado por el maestro. El número máximo de estaciones previsto es de 63 esclavos más una estación maestra.

Los intercambios de mensajes pueden ser de dos tipos:

- Intercambios punto a punto, que comportan siempre dos mensajes: una demanda del maestro y una respuesta del esclavo (puede ser simplemente un reconocimiento).
- Mensajes difundidos: Estos consisten en una comunicación unidireccional del maestro a todos los esclavos. Este tipo de mensajes no tiene respuesta por parte de los esclavos y se suelen emplear para mandar datos comunes de configuración, reset, etc.

2.3.5.3 PROTOCOLO

La codificación de datos dentro de la trama puede hacerse en modo ASCII o puramente binario, según el estándar RTU (Remote Transmission Unit). En cualquiera de los dos casos, cada mensaje obedece a una trama que contiene cuatro campos principales, según se muestra en la figura 6. La única diferencia estriba en que la trama ASCII incluye un carácter de encabezamiento («:»=3AH) y los caracteres CR y LF al final del mensaje. Pueden existir también diferencias en la forma de calcular el CRC, puesto que el formato RTU emplea una fórmula polinómica en vez de la simple suma en módulo 16. Con independencia de estos pequeños detalles, a continuación, se da una breve descripción de cada uno de los campos del mensaje:

: (3AH)	Nº Esclavo (00-3F$_H$)	Código de Operación	Subfunciones, Datos	LRC(16) H L	CR (0D$_H$)	LF (0A$_H$)

Codificación ASCII

Nº Esclavo (00-3F$_H$)	Código de Operación	Subfunciones, Datos	CRC(P16) H L

Codificación RTU

Figura 6.- Trama genérica del mensaje según el código empleado.[21]

Número de esclavo (1 byte): Permite direccionar un máximo de 63 esclavos con direcciones que van del 01H hasta 3FH. El número 00H se reserva para los mensajes difundidos.

Código de operación o función (1 byte): Cada función permite transmitir datos u órdenes al esclavo. Existen dos tipos básicos de órdenes:

- Ordenes de lectura/escritura de datos en los registros o en la memoria del esclavo.
- Ordenes de control del esclavo y el propio sistema de comunicaciones (RUN/STOP, carga y descarga de programas, verificación de contadores de intercambio, etc.)

La tabla muestra la lista de funciones disponibles en el protocolo MODBUS con sus correspondientes códigos de operación.

Función	Código	Tarea
0	00_H	Control de estaciones esclavas
1	01_H	Lectura de *n* bits de salida o internos
2	02_H	Lectura de *n* bits de entradas
3	03_H	Lectura de *n* palabras de salidas o internos
4	04_H	Lectura de *n* palabras de entradas
5	05_H	Escritura de un bit
6	06_H	Escritura de una palabra
7	07_H	Lectura rápida de 8 bits
8	08_H	Control de contadores de diagnósticos número 1 a 8
9	09_H	No utilizado
10	$0A_H$	No utilizado
11	$0B_H$	Control del contador de diagnósticos número 9
12	$0C_H$	No utilizado
13	$0D_H$	No utilizado
14	$0E_H$	No utilizado
15	$0F_H$	Escritura de *n* bits
16	10_H	Escritura de *n* palabras

Tabla 1.- Funciones básicas y códigos de operación del protocolo MODBUS.[22]

[21] Comunicaciones Industriales, Manuel Jiménez Buendía Industriales, Universidad Politécnica de Cartagena. Departamento de Tecnología Electrónica. Tema 7, Pág. 4

Campo de subfunciones/datos (n bytes): Este campo suele contener, en primer lugar, los parámetros necesarios para ejecutar la función indicada por el byte anterior. Estos parámetros podrán ser códigos de subfunciones en el caso de órdenes de control (función 00H) o direcciones del primer bit o byte, número de bits o palabras a leer o escribir, valor del bit o palabra en caso de escritura, etc.

Palabra de control de errores (2 bytes): En código ASCII, esta palabra es simplemente la suma de comprobación (‘checksum’) del mensaje en módulo 16 expresado en ASCII. En el caso de codificación RTU el CRC se calcula con una fórmula polinómica según el algoritmo mostrado en la figura 7.

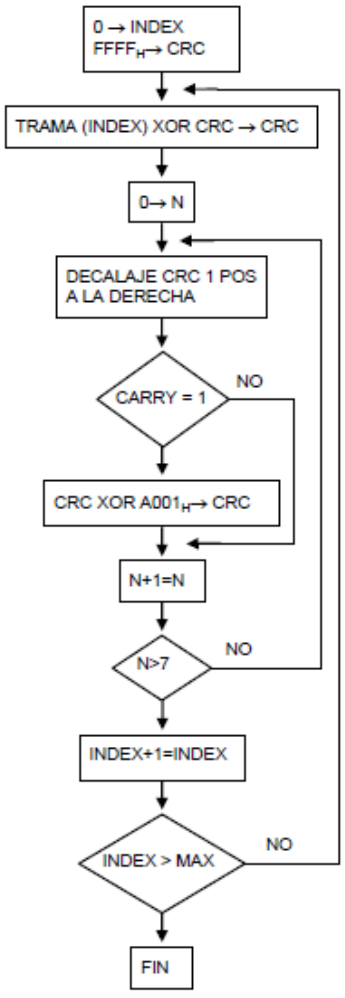


Figura 7.- Cálculo del CRC codificación RTU.[23]

[22] Comunicaciones Industriales, Manuel Jiménez Buendía Industriales, Universidad Politécnica de Cartagena. Departamento de Tecnología Electrónica. Tema 7, Pág. 3

[23] Comunicaciones Industriales, Manuel Jiménez Buendía Industriales, Universidad Politécnica de Cartagena. Departamento de Tecnología Electrónica. Tema 7, Pág. 3

2.3.5.4 NIVEL DE APLICACIÓN

Como se ha dicho a nivel general de buses de campo, el nivel de aplicación de MODBUS no está cubierto por un software estándar, sino que cada fabricante suele suministrar programas para controlar su propia red. No obstante, el nivel de concreción en la definición de las funciones permite al usuario la confección de software propio para gestionar cualquier red, incluso con productos de distintos fabricantes.

2.3.5.5 MODBUS TCP/IP

MODBUS TCP/IP es una variante o extensión del protocolo Modbus que permite utilizarlo sobre la capa de transporte TCP/IP. De este modo, Modbus TCP se puede utilizar en Internet, de hecho, este fue uno de los objetivos que motivó su desarrollo (la especificación del protocolo se ha remitido a la IETF[24]). En la práctica, un dispositivo instalado en Europa podría ser direccionado desde EEUU o cualquier otra parte del mundo.

Las ventajas para los instaladores o empresas de automatización son innumerables:

- Realizar reparaciones o mantenimiento remoto desde la oficina utilizando un PC, reduciendo así los costes y mejorando el servicio al cliente.
- El ingeniero de mantenimiento puede entrar al sistema de control de la planta desde su casa, evitando desplazamientos.
- Permite realizar la gestión de sistemas distribuidos geográficamente mediante el empleo de las tecnologías de Internet/Intranet actualmente disponibles.

MODBUS TCP/IP se ha convertido en un estándar industrial de facto debido a su simplicidad, bajo coste, necesidades mínimas en cuanto a componentes de hardware, y sobre todo a que se trata de un protocolo abierto.

En la actualidad hay cientos de dispositivos MODBUS® TCP/IP disponibles en el mercado. Se emplea para intercambiar información entre dispositivos, así como monitorizarlos y gestionarlos. También se emplea para la gestión de entradas/salidas

[24] IETF: Internet Engineering Task Force

distribuida, siendo el protocolo más popular entre los fabricantes de este tipo de componentes[25].

La combinación de una red física versátil y escalable como Ethernet con el estándar universal de interredes TCP/IP y una representación de datos independiente de fabricante, como MODBUS, proporciona una red abierta y accesible para el intercambio de datos de proceso.

Modbus TCP simplemente encapsula una trama Modbus en un segmento TCP. TCP proporciona un servicio orientado a conexión fiable, lo que significa que toda consulta espera una respuesta.

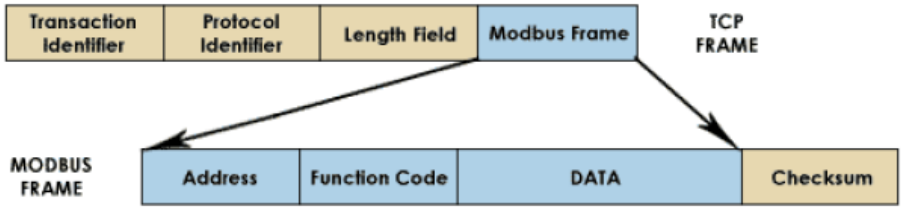


Figura 8.- Encapsulamiento de la trama Modbus en TCP.[26]

Esta técnica de consulta/respuesta encaja perfectamente con la naturaleza Maestro/Esclavo de Modbus, añadido a la ventaja del determinismo que las redes Ethernet conmutadas ofrecen a los usuarios en la industria. El empleo del protocolo abierto Modbus con TCP proporciona una solución para la gestión desde unos pocos a decenas de miles de nodos.

Sobre las prestaciones de un sistema MODBUS TCP/IP dependen básicamente de la red y el hardware. Si se usa MODBUS TCP/IP sobre Internet, las prestaciones serán las correspondientes a tiempos de respuesta en Internet, que no siempre serán las deseables para un sistema de control. Sin embargo pueden ser suficientes para la comunicación destinada a depuración y mantenimiento, evitando así desplazamientos al lugar de la instalación.

[25] Comunicaciones Industriales, Manuel Jiménez Buendía Industriales, Universidad Politécnica de Cartagena. Departamento de Tecnología Electrónica. Tema 7, Pág. 9
[26] Comunicaciones Industriales, Manuel Jiménez Buendía Industriales, Universidad Politécnica de Cartagena. Departamento de Tecnología Electrónica. Tema 7, Pág. 9

Si disponemos de una Intranet de altas prestaciones con conmutadores Ethernet de alta velocidad, la situación es totalmente diferente.

En teoría, MODBUS TCP/IP, transporta datos hasta 250/(250+70+70) o alrededor de un 60% de eficiencia cuando se trasfieren registros en bloque, y puesto que 10 Base T proporciona unos 1.25 Mbps de datos, la velocidad de transferencia de información útil será:

1.25M / 2 * 60% = 360000 registros por segundo En 100BaseT la velocidad es 10 veces mayor.

Esto suponiendo que se están empleando dispositivos que pueden dar servicio en la red Ethernet aprovechando todo el ancho de banda disponible.

En los ensayos prácticos realizados por Schneider Automation utilizando un PLC Ethernet MomentumTM con entradas/salidas Ethernet, demostró que se podían escanear hasta 4000 bloques I/O por segundo, cada uno con hasta 16 I/O analógicas de 12-bits o 32 I/O digitales (se pueden actualizar 4 bases por milisegundo). Aunque estos resultados están por debajo del límite teórico calculado anteriormente, pero se debe recordar que el dispositivo se probó con una CPU de baja velocidad (80186 a 50MHz con 3 MIPS).

Además, el abaratamiento de los computadores personales y el desarrollo de redes Ethernet cada vez más rápidas, permite elevar las velocidades de funcionamiento, a diferencia de otros buses que están inherentemente limitados una sola velocidad.

Puesto que MODBUS TCP/IP es simplemente un protocolo MODBUS encapsulado en TCP, es muy sencillo comunicar dispositivos MODBUS existentes sobre MODBUS TCP/IP. Para ello se requiere una pasarela que convierta el protocolo MODBUS a MODBUS TCP/IP.

2.3.6 OPC (OLE for Process Control)

2.3.6.1 INTRODUCCIÓN

La arquitectura informática para la industria de proceso incluye los diferentes niveles descritos con anterioridad (gestión, control, campo-proceso y entrada-salida)[27].

El objetivo de OPC es que en la industria se puedan utilizar herramientas estándar (paquetes SCADA, bases de datos, hojas de cálculo) para construir un sistema que responda a sus necesidades de mejora de la productividad.

Para ello es necesario desarrollar una arquitectura de comunicaciones abierta y efectiva que se centre en el acceso a los datos, no en los tipos de datos, es decir, que sea independiente del tipo de bus de campo o de datos empleado en cada una de las partes del proceso productivo y empresarial.

Hay muchas aplicaciones cliente que requieren datos de dispositivos y acceden a ellos desarrollando controladores o drivers de forma independiente. Esto implica:

- Duplicación de esfuerzos: todos los programas necesitan un driver para un determinado hardware (ejemplo: un bus de campo).
- Falta de consistencia entre drivers: hay características del hardware no soportadas por todos los drivers.
- Cambios en el hardware: hacen que los drivers queden obsoletos.
- Conflictos de acceso: generalmente, dos programas no pueden acceder simultáneamente al mismo dispositivo puesto que poseen drivers independientes.

Los fabricantes de hardware no pueden desarrollar un driver eficiente utilizable por todos los clientes debido a las diferencias de protocolos entre clientes.

[27] OPC (OLE for Process Control): http://www.automatas.org/redes/opc.htm

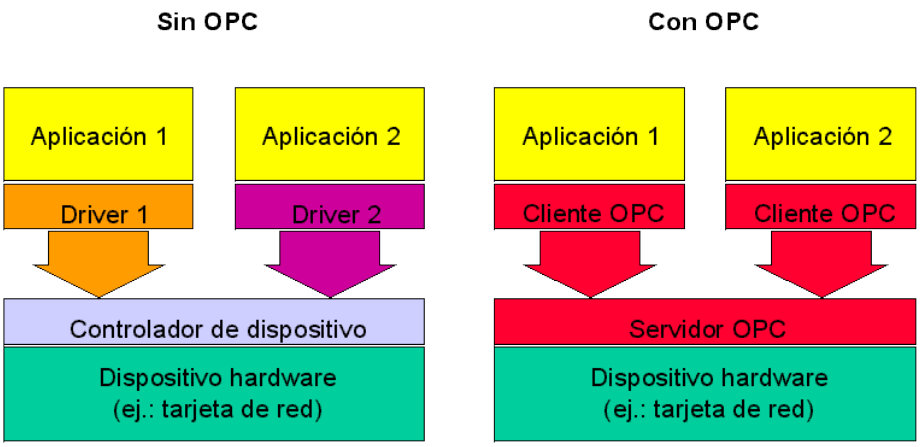


Figura 9.- Semejanza del sistema OPC con los sistemas tradicionales.[28]

OPC proporciona un mecanismo para extraer datos de una fuente y comunicarlos a cualquier aplicación cliente de manera estándar. Los fabricantes de hardware pueden desarrollar servidores optimizados para recoger datos de sus dispositivos. Dando al servidor un interface OPC permite a cualquier cliente acceder a dichos dispositivos.

2.3.6.2 ORIGEN

OPC se basa en la tecnología OLE/COM (Object Linking and Embedding / Component Object Model) de Microsoft.

Esta es la tecnología que permite que componentes de software (escritos en C y C++ por expertos en un sector) sean utilizados por una aplicación (escrita en Delphi o Visual Basic para otro sector).

De esta forma se desarrollarán componentes en C y C++ que encapsulen los detalles de acceder a los datos de un dispositivo, de manera que quienes desarrollen aplicaciones empresariales puedan escribir código en Visual Basic que recoja y utilice datos de planta.

El diseño de las interfaces OPC soporta arquitecturas distribuidas en red. El acceso a servidores OPC remotos se hace empleando la tecnología DCOM (Distributed COM) de Microsoft.

[28] OPC (OLE for Process Control): http://www.automatas.org/redes/opc.htm

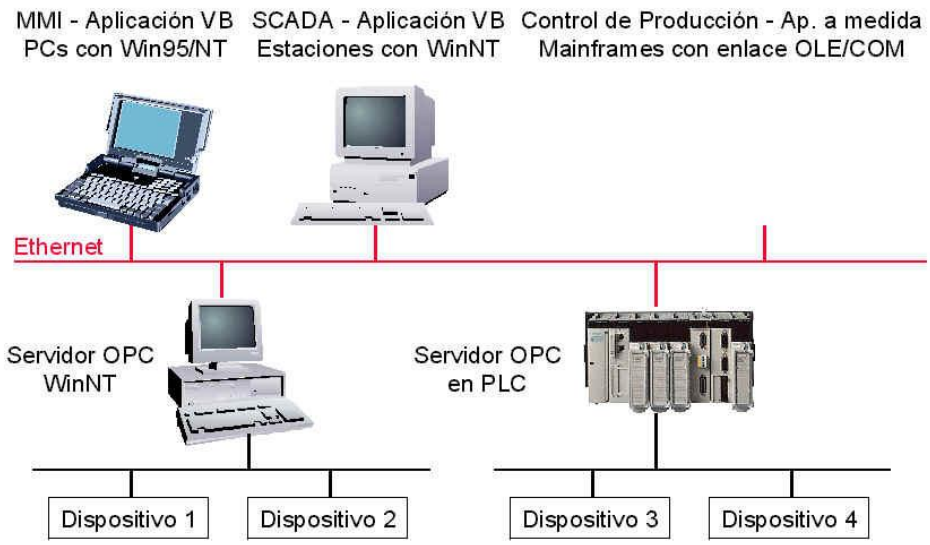


Figura 10.- Integración de sistemas heterogéneos con OPC.[29]

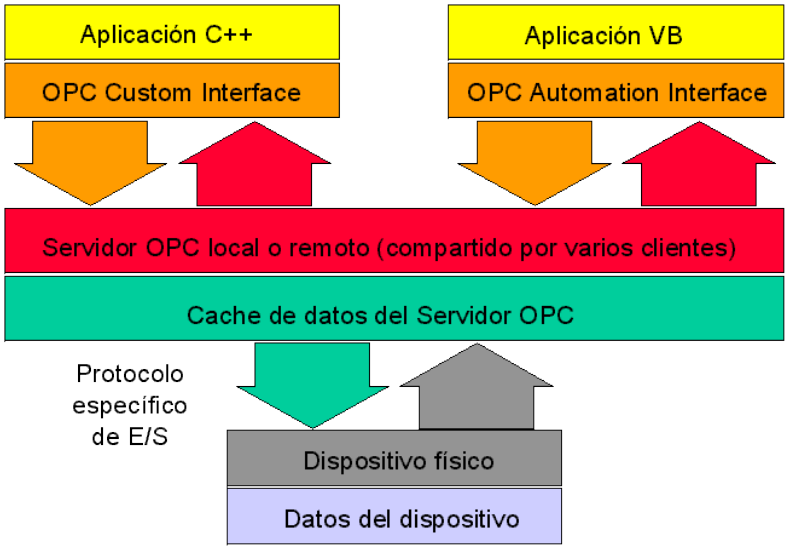


Figura 11.- Arquitectura general y componentes OPC.[30]

2.3.6.2 ARQUITECTURA

Un servidor OPC se compone de varios objetos que se ajustan a la norma COM:

- El objeto servidor: contiene información sobre la configuración del servidor OPC y sirve de contenedor para los objetos tipo grupo.
- El objeto grupo: sirve para organizar los datos que leen y escriben los clientes (ej.: valores en una pantalla MMI o en un informe de producción). Se pueden establecer conexiones por excepción entre los clientes y los elementos de un

[29] OPC (OLE for Process Control): http://www.automatas.org/redes/opc.htm
[30] OPC (OLE for Process Control): http://www.automatas.org/redes/opc.htm

grupo. Un grupo puede ser público, es decir, compartido por varios clientes OPC.

- El objeto ítem: representa conexiones a fuentes de datos en el servidor (no son las fuentes de datos en sí). Tiene asociados los atributos Value, Quality y Time Stamp. Los accesos a los items OPC se hacen a través de los grupos OPC y los clientes pueden definir el ritmo al cual el servidor les informa sobre cambios en los datos.

El acceso a los objetos COM se hace a través de interfaces, que son lo único que ven los clientes OPC. Los objetos descritos son representaciones lógicas que no tienen por qué coincidir con la implementación que se haga del servidor OPC.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

3.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE EQUIPOS UTILIZADOS VS. EQUIPOS DISPONIBLES EN EL MERCADO

- **PANTALLAS HMI**

HMI			
		BrainChild	**SIMATIC**
		HMI-450	TP-177B 4”
Pantalla	Tamaño	4,3”	4,3”
	Resolución pixeles	480 x 272	480 x 272
	Tipo de display	TFT completamente touch screen	LCD TFT
	Colores	65, 536 65,	256
	Tipo pantalla táctil	Analógica resistiva	Analógica resistiva
	Área activa del display	95mm x 54 mm	95mm x 53 mm
	Posición del display	Horizontal y vertical	Horizontal
	MTBF Backlight	30000 hrs.	30000 hrs.
	Brillo ajustable	LED	LED
	Ahorrador de pantalla	Si	Si
	Fuentes de lenguaje	Unicode inclusive and Traditional Chinese, Japanese & Korean	-
	Categoría de error de pixeles según DIN en ISO 13406-2	-	II
Hardware Principal	Procesador, CPU	AMR 533 Mhz	
	Memoria ROM	128 Mb	
	Memoria RAM	256 Mb	2 Mb
	Sistema operativo	WinCE 6.0	
	Tiempo real	Si	
	Zumbador	Si	
	Sonido de salida	N.A.	
	DS Card Slot	Si	
Interfaces	RS-232C, DB9 Macho	1	-
	RS-232C Hembra	1	-
	RS-422, RS-485, DB25 Hembra	Máx 12Mbps, modo DP	Máx 12Mbps, modo DP

	HMI		
		BrainChild	**SIMATIC**
		HMI-450	**TP-177B 4”**
	1x ETHERNET	RJ-45 10/100 Mbps	RJ-45 10/100 Mbps
	1x USB 1.1	USB Host, carga máxima 500 mA.	USB Host, carga máxima 500 mA.
Otras redes de trabajo	Profibus DP, Profinet (1 o 2 entradas)	Opcional	
	Devicenet, Ethernet / IP	Opcional	
	CANopen, Ethercat	Opcional	
	CC-Link, ControlNet, Componet	Opcional	
Especificaciones Generales	Fuente de energía	11-36 Vdc	19,2V – 28,8V (+-20%)
	Consumo	5W	
	LED indicador de energía	Si	
	Dimensiones exteriores	140 x 116 x 57	
	Profundidad montado (mm)	51	
	Protección	IP65 frente, IP20 atrás	
	Protección frontal	Plástico	
	Instalación	N.A.	Mordazas de fijación de metal
	Peso neto (Kgs)	0,5	0,5
	Transistorios, máximo admisible	-	35V (500 ms)
	Tiempo entre transistorios, mínimo	-	50s

Tabla 2.- Diferencias técnicas de HMI BrainChild vs Simatic

- **CONTROLADORES**

CONTROLADORES				
	WATTLO	**COEL**	**OMROM**	**BRAINCHILD**
	CLS-200	**HW-4100**	**E5CN**	**BTC-9300**
Estándar de protección		IP-54	IP-66	IP-65
Control		PID	PID	Fuzzy + PID

CONTROLADORES				
	WATTLO	**COEL**	**OMROM**	**BRAINCHILD**
	CLS-200	**HW-4100**	**E5CN**	**BTC-9300**
Tiempo de muestreo		1200-38400 baudios	250ms	
Temperatura de operación		0°C a 55°C		-10°C a 50°C
Humedad		30 – 95%		0 – 90%
Entrada de alimentación				
90 – 260VAC, 50/60 Hz	X	X	X	X
11 – 26VAC o VDC	X	X	X	X
SEÑAL DE ENTRADA			2	3
Entrada estándar			X	X
Entrada 1-Entrada universal	X	X	X	X
Termocuplas: J, K,T, E, B, R, S, N, L	X	X	X	X
RTD: PT100 DIN, PT100 JIS	X	X	X	X
Corriente: 4-20 mA., 0-20mA.	X	X	X	X
Voltaje: 0-1V, 0-5V, 1-5V, 0-10V	X		X	X
Entrada 2- CT y Entrada Analógica	X			
CT: 0-50 A. Corriente AC				X
Transformador				X
Entrada Analógica: 4-20 mA.			X	X
0-20 mA, 0-1V, 0-5V			X	X
1-5V, 0-10V			X	X
Entrada 3- Entrada de eventos (EI)				X
SALIDAS	34	4	4	2
SALIDA 1				
Ninguna				X
Rele 2A /240 VAC			X	X
Pulso de voltaje SSR, 5V /30 mA	X	X	X	X
Aislado 4-20 mA / 0-20 mA		X	X	X
Aislado 0-5 V /1-5 V			X	X
Aislado 0-10 V			X	X

CONTROLADORES				
	WATTLO	**COEL**	**OMROM**	**BRAINCHILD**
	CLS-200	**HW-4100**	**E5CN**	**BTC-9300**
Salida Triac 1A / 240 VAC, SSR				X
Voltaje de pulso para driver SSR, 14V /40 Ma			X	X
SALIDA 2 / Alarma 2				
Ninguna				X
Forma A Relay 2A / 240 VAC			X	X
Pulso de voltaje SSR, 5V / 30 mA	X		X	X
Aislado 4-20 mA / 0-20 mA			X	X
Aislado 0-5 V /1-5 V				X
Aislado 0-10 V				X
Salida Triac 1A / 240 VAC, SSR				X
Aislado 20V / 25 mA DC suministra salida de voltaje				X
Aislado 12V / 40 mA DC suministra salida de voltaje		X		X
Aislado 5V / 80 mA DC suministra salida de voltaje				X
Pulso de Voltaje SSR, 14V / 40 mA			X	X
ALARMAS	X		1	2
Alarma 1		X		
Ninguna				X
Forma A Relay 2A / 240 VAC			X	X
Forma B Relay 2A / 240 VAC				X
Comunicación				
Ninguna				X
RS-485		X	X	X
RS-232			X	X
Retransmisión 4-20 mA / 0-20				X
Retransmisión 1-5V / 0-5V				X
Retransmisión 0-10V				X
Orden especial				X
Protocolo de comunicación	MODBUS RTU	MODBUS RTU		MODBUS RTU
Velocidad de transmisión		1200-38400	500ms	

Tabla 3.- Diferencias técnicas de Controladores Wattlo, Coel, Omrom y BrainChild.

- **SENSOR DE TEMPERATURA PT-100**

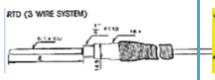
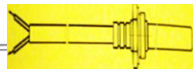
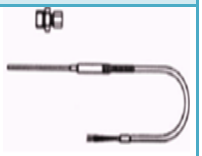
TERMOSTATOS PT-100 PARA LA INDUSTRIA DE PROCESO				
MARCA	**BRAINCHILD**	**IMT**	**SICK**	**ENDRESS + HAUSER**
DISEÑO				
MODELO	PT-100	CK15		TST-310
CARACTERISTICA ESPECIAL	Cable flexible, longitud de inmersión ajustable con cable de conexión.	1xPT100.	Con cable flexible, longitud de inmersión fija.	Con cable flexible, long. de inmersión ajustable, con cable de conexión.
COSTOS	62,20	-	200	250
CONEXIÓN A PROCESO	Rosca NPT1/4, PTW8"….PT3/4",PF1/8"…PF3/4"	G1/4A,G3/8A, M6,M10,M16	G1/4,G1/2	Acoplado a presión ajustable G1/4"
LONGITUD DE INMERSIÓN ESTANDARES	50,100,150,200, 300,400,500,1000mm	25,100,200,250, 400mm	25,50,100,150, 250,350mm	100,250,350,500mm
TIPO DE CABEZAL	Cable de conexión 5m 3hilos	2hilos	Conector M12x1	Cable de 1000, 2000,3500mm
RANGO MÁXIMO DE MEDIDA	300°C	-50….400°C	250°C	-50….400°C
EXACTITUD IEC-60751	-	Clase B	Clase A	Clase A,B
TIPO DE CONEXIÓN	3 Hilos	2,3,4 Hilos	2,4 Hilos	3,4 Hilos
ELEMENTO DE INSERCIÓN	Inox 304, Fibra Glass, PVC, Teflón	Inox, PTFE, GLASS, Silicon, PVC, Teflón	Acero Inoxidable 1,4	Con aislamiento mineral
DIÁMETRO	16,……21,7	3mm, 6mm	3mm, 6mm	3mm, 6mm
GRADO DE PROTECCIÓN	-	-	IP67	-

Tabla 4.- Diferencias técnicas de Termostatos BrainChild, IMT, Sick, Endress+ Hauser.

3.1 ESTUDIO TÉCNICO DE COMPONENTE DE HARDWARE

El hardware a ser utilizado en el módulo autónomo didáctico es:

- HMI.
- Conversor de Protocolo PC-E Serial a Ethernet (RS-232/485 Modbus RTU Modbus TCP/IP).
- Controlador de Temperatura BTC-9300.

- Módulo de Adquisición de Datos DAIO.
- Sensor de temperatura PT-100.

3.1.1 HMI – 450 (INTERFACE HOMBRE-MÁQUINA)

Figura 12.- Pantalla HMI-450.[31]

Los paneles inteligentes es lo nuevo en interfaces Hombre-Maquina, HMI son las interfaces entre el operador / humanos y máquinas. Los operadores pueden dar órdenes a través de estas interfaces hacia el PLC, inversores o reguladores de temperatura para controlar máquinas y procesos.

Han sido ampliamente utilizados para la automatización de fábricas tales como industrias de empaque, fabricación de productos eléctricos y electrónicos, la metalurgia, fabricación de textiles, plásticos, robótica, alimentos y bebidas, productos químicos y petroquímica, petróleo y gas, pulpa y papel, agua y aguas residuales, automoción, energía farmacéutica, electrónica, etc.

Entre las características sobresalientes son:

PANELES INTELIGENTES - HARDWARE

- Cuatro tamaños de 4.3 ", 7", 10,1 "y 15,4".
- Paneles de ancho en una mayor resolución y los colores 262144.
- WinCE 6.0 el funcionamiento del sistema.
- Ethernet, USB host, USB cliente, 2 puerto serial.

[31] BrainChild, HMI User Manual HMI 450, 2011

- PROFIBUS, PROFINET, DeviceNet, EtherNet / IP.
- CANOpen, EtherCAT, CC-Link, Bluetooth
- Entrada de vídeo, entrada / salida de audio, 128/512 MB de memoria Flash
- Marcos plásticos o metálicos para entornos difíciles

PANTALLA	
TAMAÑO	4,3"
RESOLUCION PIXELES	480x272
TYPO DE DISPLAY	TFT completamente touch screen
COLORES	Colores 65,536
AREA DEL DISPLAY	95mm x 54mm
MTBF Backlight	30000 hrs
BRILLO AJUSTABLE	LED
FUENTES DE LENGUAJE	Unicode inclusive and Traditional Chinese, Japanese & Korean
HARDWARE PRINCIPAL	
PROCESADOR,CPU,	ARM 11, 533Mhz
MEMORIA ROM	128 MB
MEMORIA RAM	256 MB
SISTEMA OPERATIVO	WinCE 6.0®
DS CARD SLOT	SI
INTERFACES	
RS-232C, DB9 MACHO	1
RS-232C HEMBRA	1
RS-422,485,DB25 HEMBRA	Max. 12 Mbits/s, modo DP
1Xethernet	Rj 45, 10/100 Mbps
ESPECIFICACIONES GENERALES	
FUENTE DE ENERGIA	11-36VDC
DIMENCIONES EXTERIORES	140 x 116 x 57
PROTECCIÓN FRONTAL	Plástico

Tabla 5.- Características pantalla HMI-450.[32]

[32] BrainChild, HMI User Manual HMI 450, 2011

3.1.2 CONVERSOR DE PROTOCOLO PC-E

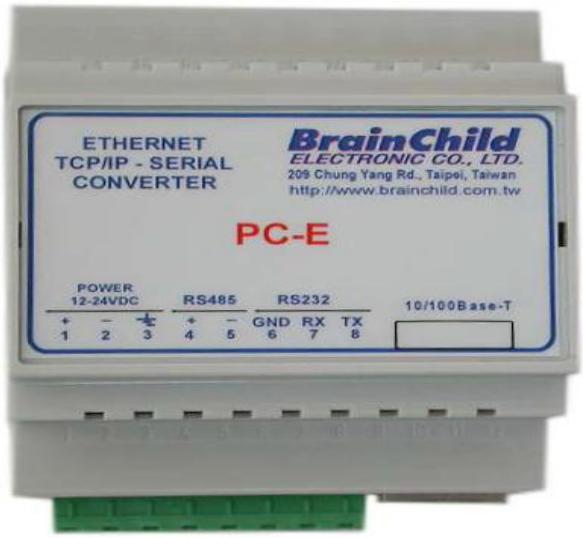


Figura 13.- Conversor PC-E[33]

El conversor Ethernet / Serial, permite a los dispositivos serial, como módulos Modbus basados en IO de comunicación en RS232/485 conectarse a una red 10/100 Base-TX Ethernet.

El conversor Ethernet / Serial pueden ser configurado para operar en varios modos diferentes dependiendo de la aplicación. Se puede configurar como un enlace de datos transparente o puede realizar la función de puerta de enlace de la conversión de Modbus TCP a Modbus RTU.

Los conversores PC-E están programados de fábrica con una dirección IP por defecto de 192.168.0.112.

Esta dirección debe ser cambiada antes de ser agregada a una red Ethernet nueva.

La dirección IP en el conversor debe ser única en la red y se puede cambiar a través de la Web Server.

---

[33] BrainChild, Manual Protocol Converter PC-E, Serial to Ethernet, 2010

Servidor web permite configurar la dirección IP, el formato de datos en serie y los modos de funcionamiento.

El servidor web puede acceder a la mayoría de navegadores web como Internet Explorer, Netscape, etc.

PC-E soporta el protocolo FTP, que permite a las páginas web para personalizar, si es necesario.

La dirección de la página web para la visualización de los parámetros de configuración es la http://192.168.0.112/index.htm y la dirección de la página Web para la configuración del conversor http://192.168.0.112/ip.htm

El dispositivo maestro de los módulos deben configurarse con la dirección IP del conversor y con la ID de los módulos Modbus. Cada red RS485 puede estar separada por lo que es posible tener repetidas las ID Modbus en las redes RS485. La dirección IP diferencia entre las redes RS485 existentes. En consecuencia, 147 módulos IO se pueden añadir a una red Ethernet.

FUENTE DE ALIMENTACIÓN	PC-E	90mA a 10VDCD/40mA a 26 VDC
ETHERNET	10/100 Mbits/s	10/100 Base-TX
	Conector	RJ45
SERIAL	RS232	3 Cables TX, RX, GND
	RS485	2 Cables Par trenzado
	Velocidad de Transmisión	2400, 4800, 9600, 19200, 38400,57600, 115200
	Bits de datos	5,6,7,8
	Paridad	None, Even, Odd
	Bits de paro	1,2
TEMPERATURA	Temperatura de operación	-10°C a + 50°C
	Temperatura de almacenamiento	-40°C a + 85°C
CONECTORES	Potencia	8 Vías, conector de tornillo

Tabla 6.- Características del PC-E Ethernet, Rev. 2010[34]

[34] BrainChild, Manual Protocol Converter PC-E, Serial to Ethernet, 2010

3.1.3 CONTROLADOR BTC-9300

Figura 14.- Controlador BTC-9300.[35]

BTC-9300 Lógica Difusa + controlador PID basado en un microprocesador, incorpora 4 dígitos LED valor que indica el proceso.

Permite al proceso llegar a un punto de ajuste predeterminado en el menor tiempo, con el mínimo de exceso durante el arranque o la perturbación de la carga externa. Con las tres teclas permite seleccionar el control de varios parámetros de entrada. Usando una función única, puede poner un máximo de 5 parámetros en frente del menú de usuario mediante el uso de contenidos en el menú de configuración.

La alimentación puede ser de: 11 a 26 VAC / VDC o 90 a 264 V AC, incorporando a 2 amperios, 2 para control de salida de relé y el amplificador doble relés de salida de alarma como estándar, por el cual la segunda alarma puede ser excepcionalmente configurado en la segunda salida para la refrigeración de propósito o el temporizador de intervalo. Tiene como alternativas de salida: SSR, TRIAC, 4 - 20 mA y 0 a 10 voltios.

El BTC-9300 es totalmente programable para PT100, termopares tipo J, K, T, E, B, R, S, N, L, 0-20mA, 4-20mA y la señal de entrada de tensión, sin necesidad de modificar la unidad. Las señales de entrada se digitalizan utilizando un conversor. El BTC-9300 permite el control de procesos rápidos, tales como presión y caudal.

[35] BrainChild, Manual BTC-9300 Process/Temperature Controller, 2010

Se incorpora el selftune, se puede utilizar para optimizar los parámetros de control tan pronto como resultado del control no deseado que se observa. A diferencia de auto-tune, auto-ajuste se producen menos perturbaciones en el proceso durante el ajuste y se puede utilizar en cualquier momento.

Comunicaciones digitales RS-485, RS-232 o 4 - 20 mA retransmisión están disponibles como una opción adicional. Estas opciones en el BTC-9300 permiten ser integrados con el sistema de control de supervisión y de software, o bien la unidad de visualización remota, registradores o registradores de datos.

Existen 3 tipos de métodos que puede ser usado para programar BTC-9300:

1. Utilice las teclas en el panel frontal para programar la unidad manualmente.
2. Utilice un PC y el software de configuración para programar la unidad a través de RS-485 o RS-232 puerto COMM.
3. Utilice P10A, un programador de mano, para programar la unidad a través del puerto de programación.

El PID es difícil tratar con algunos sistemas sofisticados como los sistemas de segundo orden y superior, las perturbación se basa el principio de PID en un modelo matemático que se obtiene mediante la regulación del proceso.

A fin de superar la imperfección de control PID, se introduce la tecnología Fuzzy.

¿Qué es el control difuso?

Funciona como un buen conductor, bajo diferentes velocidades y circunstancias, que puede controlar un auto, con las experiencias que había antes y no requiere el conocimiento de la teoría cinética del movimiento. La lógica difusa es un control lingüístico, que es diferente del control PID numérico, controla el sistema por las experiencias.

3.1.3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES LOGICA DIFUSA+ PID

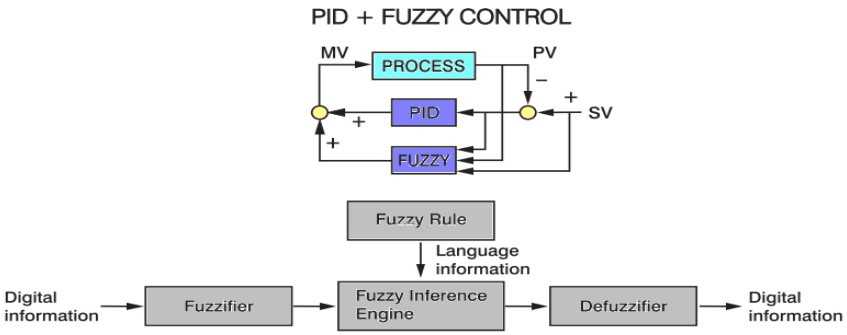


Figura 15.- Diagrama de Bloques Lógica Difusa +PID.[36]

La función de la Lógica Difusa es ajustar los parámetros de PID interno con el fin de hacer la manipulación de valores de salida más flexible y adaptable a diversos procesos MV.

La regla Fuzzy puede funcionar como estos:

- Si la diferencia de temperatura es grande y la tasa de temperatura es grande, MV es grande.
- Si la diferencia de temperatura es grande y la tasa de temperatura es pequeña, MV es pequeño.

PID + Lógica Difusa ha demostrado ser un método eficaz para mejorar el control de estabilidad como lo demuestra la comparación de las curvas a continuación:

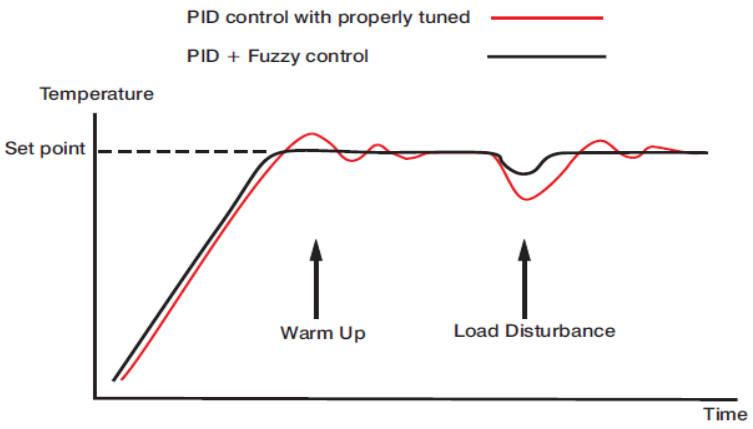
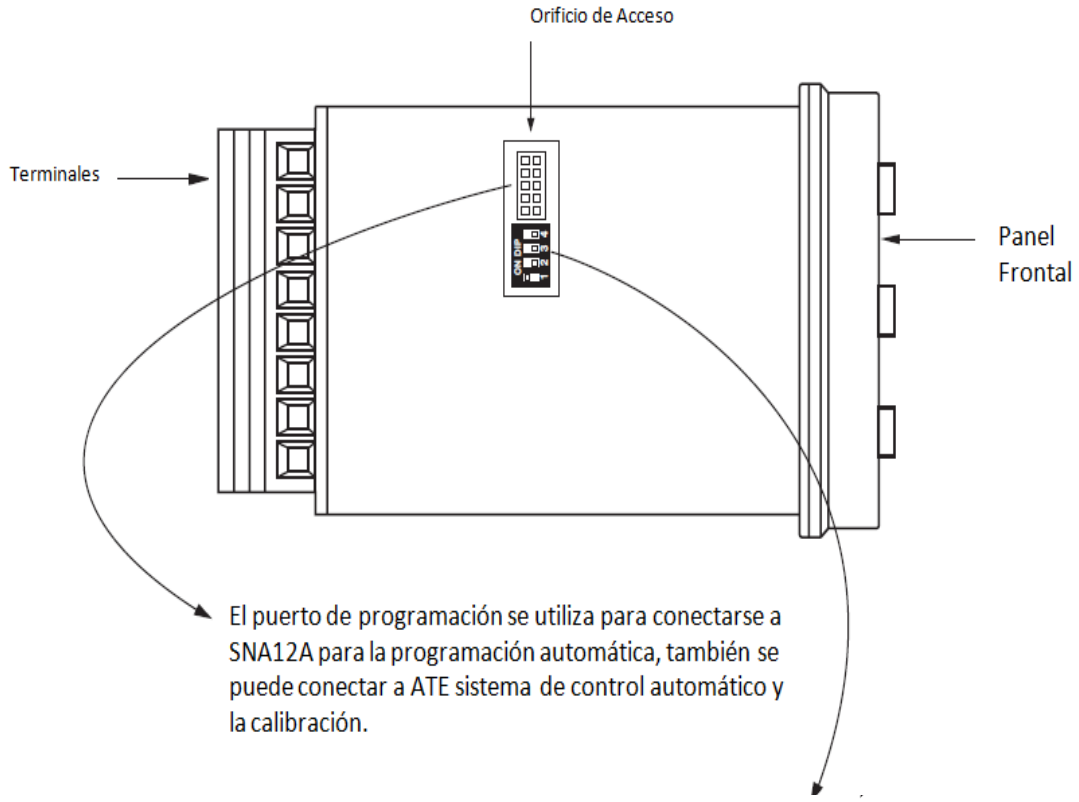


Figura 16.- Curva de estabilidad. [37]

[36] BrainChild, Manual BTC-9300 Process/Temperature Controller, 2010
[37] BrainChild, Manual BTC-9300 Process/Temperature Controller, 2010

3.1.3.2 PUERTO DE PROGRAMACIÓN Y DIP SWITCH


Orificio de Acceso
Terminales
Panel
Frontal
El puerto de programación se utiliza para conectarse a SNA12A para la programación automática, también se puede conectar a ATE sistema de control automático y la calibración.

		DIP Switch ■:ON □:OFF			
		1	2	3	4
Input 1 Select	TC, RTD, mV	■	□		
	0-1V, 0-5V, 1-5V, 0-10V	□	■		
	0-20 mA, 4-20 mA	■	■		
Lockout	Todos los parámetros son desbloqueados			□	□
	Solo SP1, SEL1 – SEL5* se desbloquean			■	□
	Solo SP1 is unlocked			□	■
	Todos los parámetros son bloqueados			■	■
Ajuste por defecto		■	□	□	□

Figura 17.- Programación de DIP Switch BTC-9300.[38]

El puerto de programación se utiliza para la configuración fuera de línea automática. No intente hacer ninguna conexión con estos pines cuando la unidad se utiliza para un propósito de control normal.

[38] BrainChild, Manual BTC-9300 Process/Temperature Controller, 2010

Cuando la unidad sale de fábrica, el interruptor DIP se ajusta de manera que el TC y RTD son seleccionados para la entrada 1 y todos los parámetros están desbloqueados.

Función de bloqueo se utiliza para desactivar el ajuste de parámetros, así como el funcionamiento del modo de calibración. Sin embargo, el menú se puede ver incluso en condición de bloqueo.

SEL1-SEL5 representan a los parámetros que se seleccionan mediante el uso de SEL1, SEL2,.... SEL5 parámetros contenidos en el menú de configuración.

Parámetros seleccionados se ha asignado al principio del menú de usuario.

3.1.3.3 DESCRIPCIÓN DE PARÁMETROS

ESTANDAR DE PROTECCIÓN	IP-65
CONTROL	Fuzzy + PID
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	-10°C a 50°C
HUMEDAD	0 - 90%
CONTROL	Fuzzy + PID
ENTRADA DE ALIMENTACIÓN	90 - 264 VAC, 50 / 60 HZ
SEÑAL DE ENTRADA	**Entrada1- Entrada Universal**
	Termocuplas: J,K,T,E,B,R,S,N,L
	RTD: PT100 DIN, PT100 JIS
	Corriente: 4-20 mA, 0-20mA.
	Voltaje: 0-1V, 0-5V,1-5V,0-10V
SALIDA 1	Rele 2A/240 VAC
SALIDA 2 / Alarma 2	Forma A Relay 2A/240VAC
Comunicación	RS-485

Tabla 7.- Características del controlador BTC-9300.[39]

[39] BrainChild, Manual BTC-9300 Process/Temperature Controller, 2010

3.1.3.4 NORMAS DE PROTECCIÓN

	PRIMER NÚMERO: Protección contra sólidos	SEGUNDO NÚMERO: Protección contra sólidos	TERCER NÚMERO: Protección contra impactos mecánicos
0	Sin protección	Sin protección	Sin protección
1	Protegido contra objetos sólidos de más de 50 mm	Protegido contra gotas de agua que caigan verticalmente	Protegido contra impactos de 0.255 joules
2	Protegido contra objetos sólidos de más de 12 mm	Protegido contra rocíos directos hasta 15° de la vertical	Protegido contra impactos de 0.375 joules
3	Protegido contra objetos sólidos de más de 2.5 mm	Protegido contra rocíos directos hasta 60° de la vertical	Protegido contra impactos de 0.5 joules
4	Protegido contra objetos sólidos de más de 1mm	Protegido contra rocíos directos de todas la direcciones- entrada limitada permitida	Protegido contra impactos de 0.2 joules
5	Protegido contra polvo - entrada limitada permitida	Protegido contra chorros de agua a baja presión de todas las direcciones-entrada limitada permitida	Protegido contra impactos de 6.0 joules
6	Totalmente protegido contra polvo	Protegido contra fuertes chorros de agua de todas la direcciones-entrada limitada permitida	Protegido contra impactos de 20.0 joules
7		Protegido contra los efectos de la inmersión de 15cm-1m	
8		Protegido contra largos periodos de inmersión bajo presión	

Tabla 8.- Normas IP de protección para equipos industriales.[40]

3.1.3.5 REGISTROS DE DIRECCIONES

Parameter Notation	Register Address	Parameter Description	Data Type *A	Range *B		Default Value *C	Scale *D		Unit *E
				Low	High		Low	High	
SP1	0	Set point 1	R/W	SP1L	SP1H	100.0 °C (212.0 °F)	-19999	45536	PV
PV	128	Current Process Value	R	-19999	45536	—	-19999	45536	PV
SV	129	Current set point Value	R	-19999	45536	—	-19999	45536	PV

Tabla 9.- Registros de direcciones BTC-9300.[41]

[40] BrainChild, Manual BTC-9300 Process/Temperature Controller, 2010
[41] BrainChild, Manual BTC-9300 Process/Temperature Controller, 2010

3.1.5 MODULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS I/O-DAIO

Figura 18.- Módulo IO/DAIO.[42]

Son sistema modulares de IO BrainChild es innovadora, ofrece una solución sencilla de bajo costo para requisitos de E / S distribuidas.

El sistema de IO consiste en Entrada / Salida, digital y analógica independientes de los módulos que están conectados entre sí en un RS485 de dos cables de una redmulti-drop.

Los módulos se comunican mediante el protocolo MODBUS RTU. Una CPU ARM de 32 bits se utiliza en los módulos que cuentan con alta velocidad de procesamiento de datos y comunicaciones rápidas vuelta veces. Múltiples velocidades de transmisión son seleccionables desde 2400 hasta 115200 baudios.

Todos los módulos IO encajan directamente en un riel DIN estándar de la industria. Todos los módulos tienen un aislamiento mínimo de 1000VAC eficaz entre el campo y la lógica.

Los módulos han sido equipados con LED de estado, que se utilizan para indicar el estado de las entradas o salidas. Esta indicación visual de ayuda en la búsqueda de fallos y diagnóstico.

El módulo I/O-DAIO es una combinación múltiple de entradas y salidas. El módulo puede alojar a 2 o 3 sensores RTD, corriente (0-20mA) y las entradas de tensión (0-

[42] BrainChild, Data Adquisition Modules/Distributed IO Modules, 2010

10V), corriente (0 a 20 mA) o tensión (0-10V) de salida y entradas y salidas digitales.

3.1.5.1 ENTRADAS RTD

Hay dos entradas de RTD en el módulo. La resistencia RTD es leída por los circuitos del módulo, linealizado y se convierte en grados centígrados. No se requiere que van en el módulo cubre toda la gama de la RTD, como se indica en la tabla de RTD de especificaciones técnicas de equipo.

El valor que se lee desde el Registro Modbus es la temperatura actual en grados centígrados a 0,1 ° C. es decir: un valor de 3451 corresponde a una temperatura de 345,1 ° C.

El tipo de RTD está configurada por escribir un valor en el registro de tipo de RTD. El valor se obtiene de la tabla de abajo. Por ejemplo, para seleccionar un RTD PT100, el valor "1" debe ser escrito en el registro de tipo de IDT.

Un valor de -32767 se utiliza para indicar el agotamiento descendente de la escala. Nota: Como no hay aislamiento entre canales, aislado de RTD debe ser utilizado con el fin de evitar bucles de tierra y los errores de lectura.

3.1.5.2 ENTRADAS ANALÓGICAS

Las 2 entradas analógicas se puede configurar mediante puentes, ya sea como una entrada de corriente de (0-20mA) o una entrada de voltaje de (0-10V), estas mismas representan un valor de salida de 0- 4095(12 bits) en el correspondiente registro de Modbus.

3.1.5.3 SALIDA ANALÓGICA

No hay una salida analógica, se puede configurar con puentes internos para una salida de corriente de (0-20mA) o una salida de tensión de (0-10V).

La resolución es 12 bits, por lo que escribir un valor en el registro Modbus para cada salida de 0 -4095 daría una corriente de salida de 0 - 20 mA. Un valor de 819 ± 1LSB dará una salida de corriente de 4 mA.

3.1.5.4 ENTRADAS DIGITALES

Hay 4 entradas digitales en el módulo, las mismas que comparten un terminal común y pueden ser configurados para comunes positivas o comunes negativas.

Las entradas tienen contadores asociados con ellos. Los contadores funcionan en tres modos.

Modo 0.- Los contadores están desactivados.

Modo 1.- Todos los contadores son contadores de 32 bit que permite contar un valor de 0 a 4294967295. El valor del recuento puede ser borrado, escribiendo un cero a los registros asociados por un pre ajuste de cualquier otro valor utilizando el mismo método.

Modo2.- Las entradas se conectan arriaba/ debajo de los contadores.

La entrada 1 se incrementa el contador 1, mientras que la entrada 2 del contador 1 disminuye.

Los valores no cuentan con batería de respaldo y se perderán si se apaga el equipo.

El formato de los registros permite que el estado de las entradas pueda ser leído, ya sea como bits individuales o toda a la vez como un registro único de la red Modbus.

3.1.5.5 SALIDAS DIGITALES

El módulo tiene 2 colector abierto (NPN) con salidas digitales. Las salidas pueden ser utilizadas para driver de lámparas o relés externos cuando más capacidad de driver es necesaria.

Las salidas se escriben por el dispositivo maestro Modbus, como un PC/PLC/HMI. Cada salida puede ser individual encendido o apagado, o todas las salidas se pueden configurar al mismo tiempo por escrito un solo número en el registro de salida que representa el estado de todas las salidas.

Un temporizador de vigilancia de salida se puede configurar para desactivar todas las salidas, si no ha habido ninguna comunicación con el módulo de hasta 255 segundos. Un valor de 0 segundos desactivará el temporizador y las salidas se mantendrán en el estado programado anterior.

3.1.5.6 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

FUENTE DE ALIMENTACIÓN	Voltaje de alimentación del equipo			+12 V A + 24V
	Corriente de alimentación del equipo			115mA a 12 V/ 58mA a 24 V
	Voltaje al campo			24 Vdc
	Corriente al campo			25mA
ENTRADAS RTD	Puntos de entrada			2
	Configuración RTD			2 o 3 hilos
	Resolución			0.1°C
	Desviación			100ppm/C Typ.
	Efecto de linealidad de resistencia			<0.1°C equilibrado
	Resistencia máxima			100 Ω
	Aislamiento			1500 Vrms entre el campo y la lógica
TIPO DE RTD	**NÚMERO**	**TIPO**	**RANGO**	**PRECISIÓN**
	1	PT100	-200 a 850°C	+-0.3°C IEC 751:1983
	2	Ni 120	-80 a 320°C	+-0.3°C
	3	PT1000	-200 a 850°C	+-0.3°C
	4	Ni 1000-DIN	-200 a 850°C	+-0.3°C
	5	Ni 1000-Landys & Gyr	-200 a 850°C	+-0.3°C
	6	Ω	10 a -400 Ω	+- 5%
	7	Ω	100 a -400 Ω	+- 5%
ENTRADA DE CORRIENTE	Puntos de entrada			2
	Corriente de entrada			0 (4)-20mA
	Resistencia de entrada			250 Ω

	TIPO DE SALIDA	**RANGO**	**RESOLUCIÓN**
	1	0 – 4095	12 bits
	2	0 - 20.000mA	1uA
	3	+/- 20.000mA	1uA
	Desviación		100ppm/°C
	Precisión		0.2% del Rango
	Aislamiento		1000 Vrms entre el campo y la lógica
VOLTAJES DE ENTRADA	Puntos de entrada		2
	Voltaje de entrada		0-1 Vdc o 0-10 Vdc
	Resistencia de entrada		190 k Ω
	TIPO DE SALIDA	**RANGO**	**RESOLUCIÓN**
	4	0 – 4095	12 bits
	5	0 - 10.000V	1mV
	6	+/- 10.000V	1mV
	7	0 – 10.000V	0.1mV
	8	+/- 10.000V	0.1mV
	Desviación		100ppm/°C
	Precisión		0.2% del Rango
	Aislamiento		1000 Vrms entre el campo y la lógica
SALIDA DE CORRIENTE	Puntos de salida		1
	Corriente de salida		0 (4)-20mA
	TIPO DE SALIDA	**RANGO**	**RESOLUCIÓN**
	1	0 – 4095	12 bits
	Desviación		100ppm/°C
	Precisión		0.05% del Rango
	Conformidad		1000 Ω max a 24 Vdc 500 Ω max a 12 Vdc
SALIDA DE VOLTAJE	Puntos de salida		1
	Salida de voltaje		0 (2)-10 V
	TIPO DE SALIDA	**RANGO**	**RESOLUCIÓN**
	2	0 – 4095	12 bits
	Desviación		100ppm/°C
	Precisión		0.05% del Rango
	Conformidad		2000 Ω mínimo de carga

ENTRADAS DIGITALES	Puntos de entrada	4
	Rango de Voltaje de entrada	10 - 26 Vdc
	Entrada de Corriente por entrada	4mA a 12Vdc / 8mA a 24 Vdc
CONTADORES	Entradas	1 a 4
	Resolución	32 Bits
	Frecuencia	50 Hz (max)
	Ancho de Pulso	20 ms (min)
SALIDAS DIGITALES	Puntos de salida	2
	Voltaje Máximo	36 Vdc
	Corriente Máxima	100 mA por salida
	Vceon	1.1V Max.
AISLACIÓN	Entre el campo y la lógica	1500 Vrms entre el campo y la lógica
TEMPERATURA	Temperatura de funcionamiento	-10 °C a +50°C
	Temperatura de Almacenamiento	-40°C a +85°C
CONECTORES	Lógica de poder y comunicación	4 Pines inferiores
	Entradas	18 conectores tornillo frontales

Tabla 10.- Características técnicas del módulo DAIO.[43]

3.1.5.7 INDICADORES DE ESTADO

- Potencia: "ON" cuando el módulo se encuentra encendido.
- RS485 Rx: Parpadea para indicar que la unidad ha recibido un mensaje de Modbus válida.
- RS485 Tx: Parpadea para indicar que la unidad ha enviado un mensaje Modbus. * Tenga en cuenta que el estado LED no está disponible para digital y analógica de IO módulo en IO-Daio.

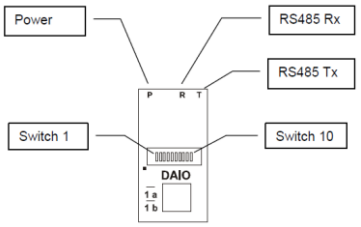


Figura 19.- Indicadores de estado y DIP Switch del módulo DAIO.[44]

[43] BrainChild, Data Adquisition Modules/Distributed IO Modules, 2010
[44] BrainChild, Data Adquisition Modules/Distributed IO Modules, 2010

INTERRUPTOR	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
1	ID NODO +1	ID nodo del 0 a 127 se creó usando los interruptores 1 a 7
2	ID NODO +2	"
3	ID NODO +4	"
4	ID NODO +8	"
5	ID NODO +16	"
6	ID NODO +32	"
7	ID NODO +64	"
8	-	No usado
9	-	No usado
10	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	Seleccione 9600 (OFF) o Velocidad programada de transmisión(ON)

Tabla 11.- Configuración de switch en el módulo DAIO. [45]

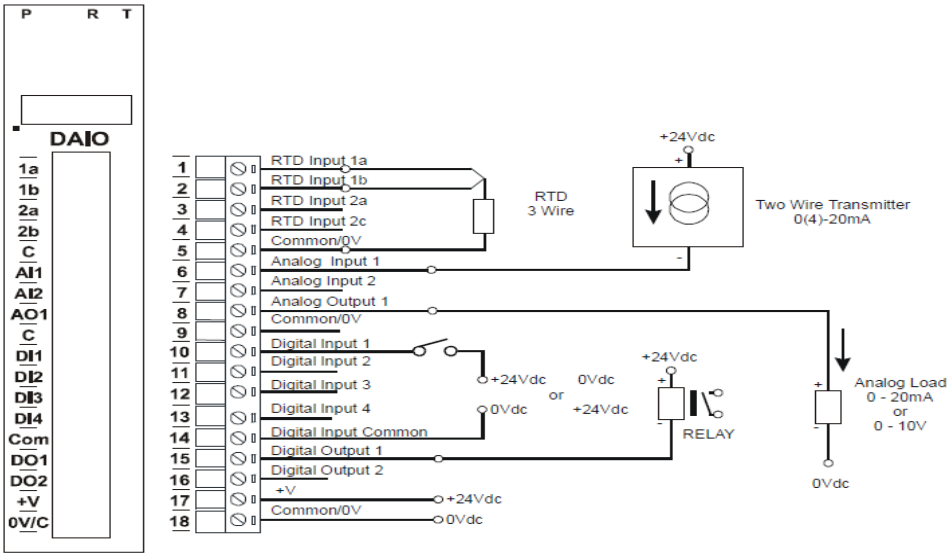


Figura 20.- Conexión de entradas y salidas DAIO.[46]

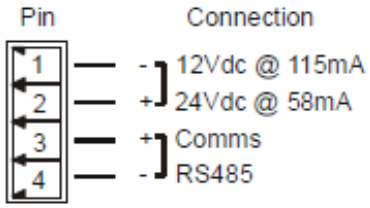


Figura 21.- Conexión eléctrica y de comunicación RS-485. [47]

[45] BrainChild, Data Adquisition Modules/Distributed IO Modules, 2010
[46] BrainChild, Data Adquisition Modules/Distributed IO Modules, 2010
[47] BrainChild, Data Adquisition Modules/Distributed IO Modules, 2010

3.1.5.8 CONFIGURACIÓN DE LOS PUENTES

3.1.5.8.1 *CORRIENTE DE ENTRADA Y SALIDA*

Las entradas analógicas se pueden configurar como un 0 (4)-20mA, colocando el puente en J7 por AI1 y J8 por AI2.

La salida analógica puede configurarse como un 0 (4)-20mA mediante la colocación de jumpers J9, J10 y J11 en la posición "I", como se muestra a continuación.

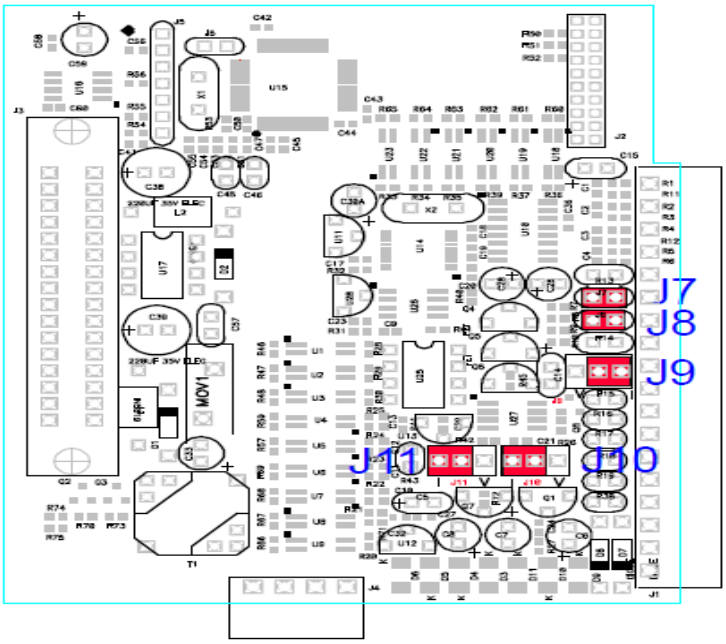


Figura 22.- Configuración de jumpers para corriente de E/S análogas DAIO.[48]

3.1.5.8.2 *VOLTAJE DE ENTRADA Y SALIDA*

Las entradas analógicas se pueden configurar como una tensión 0-10V, eliminando el puente de J7 por AI1 y AI2 por J8.

La salida analógica puede configurarse como una tensión 0-10V mediante la colocación de los puentes J9, J10 y J11 en la posición "V" como se muestra a continuación.

[48] BrainChild, Data Adquisition Modules/Distributed IO Modules, 2010

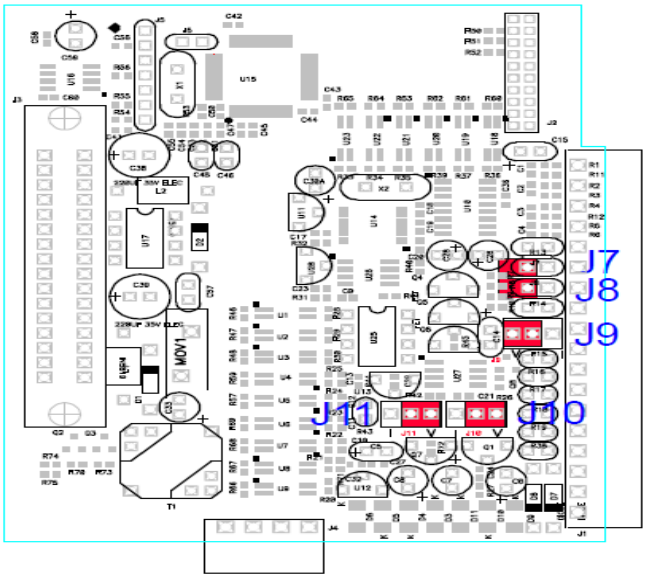


Figura 23.- Configuración de jumpers para voltaje de E/S análogas DAIO.[49]

3.1.5.9 REGISTROS DE DIRECCIONES

Modbus Address	Register Name	Low Limit	High Limit	Access	Comments
40004	RTD Input 1	-xxx.x	yyyy.y	R	RTD Inputs. See table for range.
40006	Analog Input 1	0	4095	R	Analog Input lower 12 Bits

Tabla 12.- Registros de direcciones DAIO.[50]

3.1.6 SENSOR DE TEMPERATURA PT-100

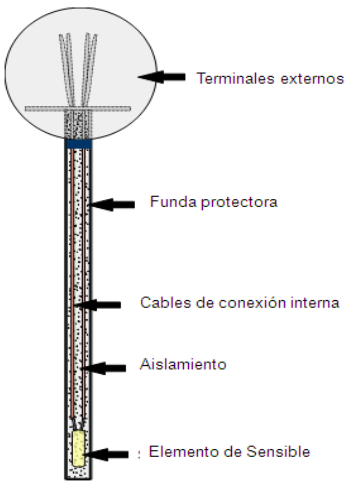


Figura 24.- Partes de un sensor de temperatura. [51]

[49] BrainChild, Data Adquisition Modules/Distributed IO Modules, 2010
[50] BrainChild, Data Adquisition Modules/Distributed IO Modules, 2010
[51] BrainChild, Data Adquisition Modules/Distributed IO Modules, 2010

Es un sensor de temperatura PT-100, basa su funcionamiento en la variación de la resistencia a cambios de temperatura del medio. El elemento de medida consiste en un arrollamiento muy fino de platino bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento cerámico.

El material que forma el conductor (platino), posee un coeficiente de temperatura de resistencia, el cual determina la variación de la resistencia del conductor por cada grada que cambia su temperatura.

Metal	Resistividad μΩ/cm	Coeficiente de t° Ω/Ω, °C	Intervalo útil de temp °C	Resist a 0°C Ω	Precisión °C
Platino	9.83	0.003850	-200 a 950	25, 100, 130	0.01
Niquel	6.38	0.0063 a 0.0066	-15 a 300	100	0.50
Cobre	1.56	0.00425	-200 a 120	10	0.10

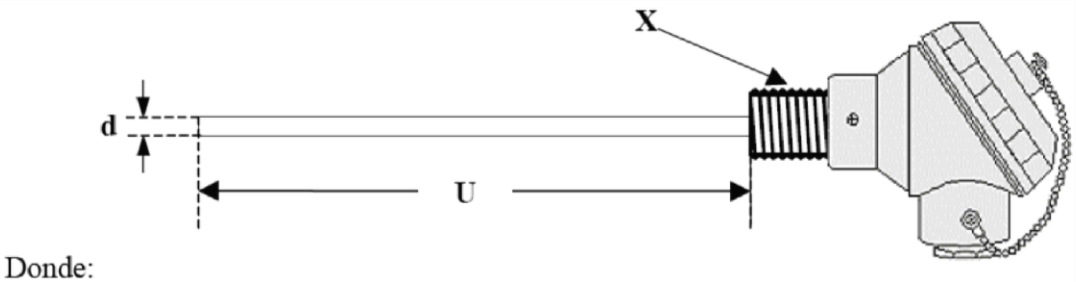
Tabla 13.- Características del platino vs otros materiales.[52]

MODELO	PT-100
CARACTERÍSTICA ESPECIAL	Sensor con cable flexible, longitud de inmersión ajustable, con cable de conexión
COSTO	$ 60,20
CONEXIÓN A PROCESO	Rosca NPT1/4 ", 5/16" PT 1/8"… PT3/4"PF1/8"…PF3/4"
LONGITUDES DE INMERSIÓN ESTÁNDARES (mm)	50,100,150,200,300,400,500,1000mm
TIPO DE CABEZAL	Cable de conexión 5m 3 hilos
PANGO MÁXIMO DE MEDIDA	300°C
TIPO DE CONEXIÓN (SENSOR)	3 hilos
ELEMENTO DE INSERCIÓN	Inox 304, Fibra Glass, PVC, Teflón
DIÁMETRO (mm)	1.6….21,7

Tabla 14.- Características del sensor PT-100. [53]

[52] Arian (Control & Instrumentación), 2005
[53] Arian (Control & Instrumentación), 2005

3.1.6.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS PARA SELECCIONAR UN SENSOR



Donde:
d = diámetro del bulbo
U = largo del bulbo

Método de Especificación:

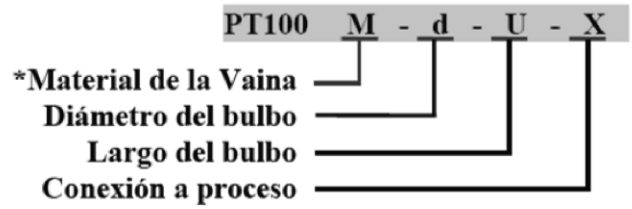


Figura 25.- Partes de un sensor de temperatura. [54]

Existen 3 modos de conexión para las PT100, cada uno de ellos requiere un instrumento lector distinto.

El objetivo es determinar exactamente la resistencia eléctrica R(t) del elemento sensor de platino sin que influya en la lectura la resistencia de los cables Rc.

3.1.6.2.1 *PT-100 CON 2 HILOS*

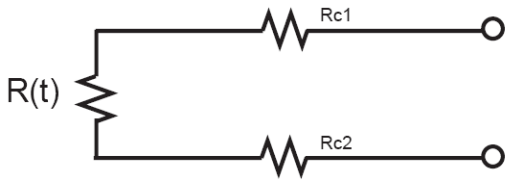


Figura 26.- Esquema eléctrico PT-100 con 2 hilos. [55]

[54] Arian (Control & Instrumentación), 2005
[55] Arian (Control & Instrumentación), 2005

El modo más sencillo de conexión (pero menos recomendado) es con solo dos cables.

En este caso las resistencias de los cables Rc1 y Rc2 que unen la PT100 al instrumento se suman generando un error inevitable.

El lector medirá el total R(t)+Rc1+Rc2 en vez de R(t).

Lo único que se puede hacer es usar cable lo más grueso posible para disminuir la resistencia de Rc1 y Rc2 y así disminuir el error en la lectura.

3.1.6.2.2 *PT-100 CON 3 HILOS*

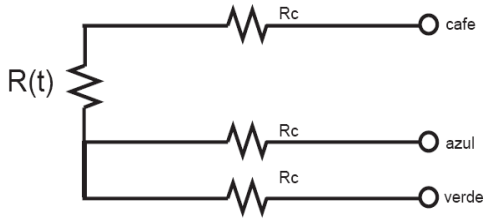


Figura 27.- Esquema eléctrico PT-100 con 3 hilos. [56]

El modo de conexión de 3 hilos es el más común y resuelve bastante bien el problema de error generado por los cables. El único requisito es que los tres cables tengan la misma resistencia eléctrica pues el sistema de medición se basa (casi siempre) en el "puente de Wheatstone". Por supuesto el lector de temperatura debe ser para este tipo de conexión.

3.1.6.2.3 *PT-100 CON 4 HILOS*

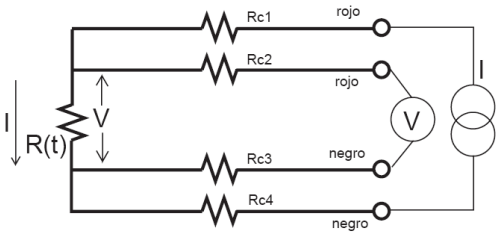


Figura 28.- Esquema eléctrico PT-100 con 4 hilos. [57]

[56] Arian (Control & Instrumentación), 2005
[57] Arian (Control & Instrumentación), 2005

El método de 4 hilos es el más preciso de todos, los 4 cables pueden ser distintos (distinta resistencia) pero el instrumento lector es más costoso.

Por los cables 1 y 4 se hace circular una corriente I conocida a través de R(t) provocando una diferencia de potencial V en los extremos de R(t). Los cables 2 y 4 están conectados a la entrada de un voltímetro de alta impedancia luego por estos cables no circula corriente y por lo tanto la caída de potencial en los cables Rc2 y Rc3 será cero (dV=Ic*Rc=0*Rc=0) y el voltímetro medirá exactamente el voltaje V en los extremos del elemento R(t). Finalmente el instrumento obtiene R(t) al dividir V medido entre la corriente I conocida.

3.2 ESTUDIO TÉCNICO DE SOFTWARE HMI/SCADA

El software a ser evaluado en este estudio, comprende 3 grandes de la industria, debido a su relevancia en las empresas y al aprendizaje adquirido en la universidad y estos son: LabVIEW, Lookout e InTouch.

3.2.1. LabVIEW

LabVIEW es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante la programación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

Este programa fue creado por National Instruments (1976) para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986. Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y GNU/Linux. La última versión es la 2011.

Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, o VIs, y su origen provenía del control de instrumentos, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente no sólo al control de todo tipo de electrónica (Instrumentación electrónica) sino también a su programación embebida. Un lema tradicional de LabVIEW es: "La potencia está en el Software", que con la aparición de los sistemas multinúcleo se ha hecho aún más potente. Entre sus objetivos están el reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones de todo tipo (no sólo en ámbitos de pruebas,

control y diseño) y el permitir la entrada a la informática a profesionales de cualquier otro campo. LabVIEW consigue combinarse con todo tipo de software y hardware, tanto del propio fabricante (tarjetas de adquisición de datos, PAC, Visión, instrumentos y otro hardware) como de otros fabricantes.

3.2.1.1 USOS

Es usado principalmente por ingenieros y científicos para tareas como:

- Adquisición de datos y análisis matemático.
- Comunicación y control de instrumentos de cualquier fabricante.
- Automatización industrial y programación de PACs (Controlador de Automatización Programable).
- Diseño de controladores: simulación, prototipaje rápido, hardware-en-el-ciclo (HIL) y validación.
- Diseño embebido de micros y chips.
- Control y supervisión de procesos.
- Visión artificial y control de movimiento.
- Robótica.
- Domótica y redes de sensores inalámbricos.
- En 2008 el programa fue utilizado para controlar el LHC, el acelerador de partículas más grande construido hasta la fecha.
- Pero también juguetes como el Lego Mindstorms o el WeDo lo utilizan, llevando la programación gráfica a niños de todas las edades.

3.2.1.2 CARACTERISTICAS

Su principal característica es la facilidad de uso, válido para programadores profesionales como para personas con pocos conocimientos en programación pueden hacer (programas) relativamente complejos, imposibles para ellos de hacer con lenguajes tradicionales. También es muy rápido hacer programas con LabVIEW y cualquier programador, por experimentado que sea, puede beneficiarse de él[58].

[58] LabVIEW: http://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW

Los programas en LabVIEW son llamados instrumentos virtuales (VIs) Para los amantes de lo complejo, con LabVIEW pueden crearse programas de miles de VIs (equivalente a millones de páginas de código texto) para aplicaciones complejas, programas de automatizaciones de decenas de miles de puntos de entradas/salidas, proyectos para combinar nuevos VIs con VIs ya creados, etc. Incluso existen buenas prácticas de programación para optimizar el rendimiento y la calidad de la programación. El VIs estándar son VIs modulares y personalizables mediante cableado y funciones que son elementos fundamentales de operación de LabVIEW.

Presenta facilidades para el manejo de:

- Interfaces de comunicaciones: Puerto serie, Puerto paralelo, GPIB, PXI, VXI, TCP/IP, UDP, DataSocket, Irda, Bluetooth, USB, OPC, etc.
- Capacidad de interactuar con otros lenguajes y aplicaciones: DLL: librerías de funciones, .NET, ActiveX, Multisim, Matlab/Simulink, AutoCAD, SolidWorks, etc.
- Herramientas gráficas y textuales para el procesado digital de señales.
- Visualización y manejo de gráficas con datos dinámicos.
- Adquisición y tratamiento de imágenes.
- Control de movimiento (combinado incluso con todo lo anterior).
- Tiempo Real estrictamente hablando.
- Programación de FPGAs para control o validación.
- Sincronización entre dispositivos.

3.2.2 LOOKOUT

Lookout es un poderoso programa fácil de usar y paquete de programa SCADA para automatización industrial. Lookout se ejecuta bajo Windows y comunica con los campos E/S de PLC’s, RTU y otros dispositivos. Los proyectos típicos Lookout incluye la monitorización del proceso continuo y control de supervisión, manufactura discreta, aplicaciones de lote y sistemas de telemetría remotos.

Completamente orientado a objetos y eventos, Lookout es un paquete configurable que no requiere ninguna programación o scripts.

Con Lookout, se puede crear representaciones gráficas en una pantalla de computadora de dispositivos mundiales reales tales como interruptores, medidas de disco de marcar, grabadoras de gráfico, pulsadores, botones, cursores, mediciones y luego vincular sus imágenes a los instrumentos de campo reales usando PLC's, RTU, paneles de DAQ, u otros dispositivos de E/S.

Se puede configurar Lookout para generar alarmas, registro de datos a disco, gráficos animados personalizados, impresión de reportes, ajuste automático de puntos de seteo, información de históricos y advertencias de operadores de mal funcionamiento.

Lookout tiene muchas y diversas capacidades tales como el control de proceso estadístico (SPC), manejo de receta, lenguaje de consulta estructurado (SQL), seguridad incorporada, grabación cronológica de datos flexible, animación sofisticada, alarmas complejas, soporte telemétrico por línea conmutada (dial-up) y radio, registros de auditoría de acontecimientos y ajustes de setpoint, soporte multimedia, compatibilidad con pantalla táctil, DDE y NetDDE y más.

Con Lookout usted puede desarrollar una aplicación completamente en línea, sin apagarse. No se tiene que recompilar o descargar una base de datos cada vez que haga una modificación, ni tampoco tiene que cambiar de un lado a otro entre programas. Aún no tiene que ejecutar programas de desarrollo y configuración por separado. En cambio, puede agregar, borrar y modificar paneles de control, lógica, gráficos, PLC's, RTU, E/S y otros dispositivos de campo sin interrumpir alguna vez su proceso.

Porque Lookout es orientado a objetos y guiado por evento, se puede usar Lookout con otros programas en el medio ambiente multitarea de Windows, por ejemplo, mientras que Lookout monitorea y controla su proceso, puede utilizar una hoja de cálculo para analizar las cifras de producción por hora de caudal promedio, a continuación, iniciar un procesador de textos para generar un memorando, pegar la hoja de cálculo en el memo y enviarlo a una impresora láser.

3.2.3 INTOUCH

El software InTouch ofrece funciones de visualización gráfica que llevan sus capacidades de gestión de operaciones, control y optimización a un nivel completamente nuevo. Aquello que ahora se conoce en la industria como HMI (Human Machine Interface) comenzó hace más de veinte años con el software InTouch. Ningún otro HMI en el mercado puede compararse al software InTouch en términos de innovación, integridad de arquitectura, conectividad e integración de dispositivos, ruta de migración de versiones de software sin interrupciones y facilidad de uso[59].

Esto se traduce en sistemas basados en estándares que permiten incrementar al máximo la productividad, optimizar la efectividad del usuario, mejorar la calidad y reducir los costos operacionales, de desarrollo y de mantenimiento.

3.2.3.1 BENEFICIOS

- Facilidad de uso que le permite a desarrolladores y operarios ser más productivos de manera simple y rápida.
- Gran integración de dispositivos y conectividad a prácticamente todos los dispositivos y sistemas.
- Sus capacidades de representación gráfica y la interacción con sus operaciones permiten entregar la información correcta a las personas correctas en el momento correcto.
- Migración de versiones de software sin interrupción, lo que significa que la inversión en sus aplicaciones HMI está protegida.

3.2.3.2 CAPACIDADES

- Gráficos de resolución independiente y símbolos inteligentes que visualmente dan vida a su instalación directamente en la pantalla de su computadora.
- Sofisticado sistema de scripting para extender y personalizar aplicaciones en función de sus necesidades específicas.
- Alarmas distribuidas en tiempo real con visualización histórica para su análisis

[59] Wonderware InTouch HMI: global.wonderware.com/LA/Pages/WonderwareInTouchHMI.aspx

- Graficación de tendencias históricas integradas y en tiempo real.
- Integración con controles Microsoft ActiveX y controles .NET.
- Librería extensible con más de 500 de objetos y gráficos prediseñados, "inteligentes" y personalizables.

3.2.4 ESTUDIO DE SOFTWARE SCADA

SOFTWARE / CARACTERÍSTICAS	LABVIEW	LOOKOUT	INTOUCH
Comunicación y control de instrumentos de cualquier fabricante	X	X	-
Diseño de controladores	X	-	-
Diseño embebido	X	-	X
Interfaces de comunicaciones	X	X	X
Capacidad de interactuar con otros lenguajes y aplicaciones	X	X	X
Herramientas gráficas y textuales para el procesado digital de señales	X	-	X
Visualización y manejo de gráficas con datos dinámicos	X	-	X
Adquisición y tratamiento de imágenes	X	-	-
Ejecución en Tiempo Real	X	X	X
Sincronización entre dispositivos	X	-	-
Análisis y Procesamiento de Señales Avanzados e Integrados	X	-	X
Integración de Hardware	X	X	X
Visualización de Datos e Interfaces de Usuario	X	X	X
Múltiples Objetivos	X	-	-
Soporta varios sistemas operativos	X	-	-
Varios Enfoques de Programación	X	-	X
Programación Multinúcleo	X	-	-
Almacenamiento de Datos y Reportes	X	X	X
Migración de versiones de software	-	-	X
Librerías	X	-	X

Tabla 15.- Comparación de características de Software SCADA.

Debido a la versatilidad que muestra los programas tanto en sus características como en la ayuda que se obtendrá, hemos decidido desarrollar en LabVIEW e InTouch.

3.3 ESTUDIO FINANCIERO DE HARDWARE Y SOFTWARE.

CONTROLADOR			TÉCNICO					COMERCIAL			VALORACION			
ITEM	MARCA	MODELO	ENTRADAS	SALIDAS	LOGICA DE CONTROL	COMUNICACIÓN	GRADO DE PROTECCIÓN	REPUESTOS	REPRESENTANTE NACIONAL	PRECIO	TÉCNICA	COMERCIAL	SOPORTE	TOTAL
1	BRANCHILD	BC-BTC9100	0 DI 1 DO(RELE)	1AI(4-20mA) 0AO	PID	0	IP55	SI	SI	130USD	1,65	3	2	6,65
2	BRANCHILD	BC-BTC9300	1 DI 2 DO(RELE)	AI(UNIVERSAL)	PID,FUZZY	RS485	IP65	SI	SI	230USD	5	3	1,3	9,3
3	CAMSCO	TC-72N/199/PT100	0 DI 1 DO(RELE)	AI(PT100)	PID	0	0	NO	SI	73,18USD	1,65		1,32	2,97
4	Schneider	REG48PUN1RHU	0 DI 2 DO	AI (UNIVERSAL	PID,FUZZY	RS485	IP65	SI	SI	507,5	5	1,98	2	8,98
REQUERIDO			0 DI 1 DO(RELE)	2 AI(UNIVERSAL) 0AO	PID,FUZZY	RS485	>IP65	SI	SI	<180USD	5	3	2	10

Nomenclatura: DI: Digital Input, DO: Digital Output, AI: Analog Input, AO: Analog Output

Tabla 16.- Cuadro técnico de comparación de controladores.

TARJETA ENTRADAS ANALOGAS/DIGITALES			TECNICO			COMERCIAL			VALORACIÓN			
ITEM	MARCA	MODELO	ENTRADAS	COMUNICACION	GRADOS DE PROTECCION	REPUESTOS	REPRESENTANTE NACIONAL	PRECIO	TECNICA	COMERCIAL	SOPORTE	TOTAL
1	WAGO	750455 COMPLEMENTO CON 750842	4AI	-	IP55	SI	SI	304,16	3	3	1,5	6
		750842	NODO PROGRAMABLE	RS485	IP65	SI	SI	550,80				
2	BRAINCHILD	DAIO COMPLEMENTO CON PC-E	2AI	RS485	IP65	SI	SI	430	3	4	2	9
		PC-E		RS485	IP65	SI	SI	217				
3	SCHNEIDER	ZELIO SR2B122BD	2AI	-	IP65	SI	SI	347	3	3,5	1,5	8
		SR3NET01BD (4) COMPLEMENTO CON SR3NET01BD (4)		ETHERNET	IP65	SI	SI	331,3				
REQUERIDO			2AI	RS485	>IP55	SI	SI	<400	3	5	2	10

Tabla 17.- Cuadro técnico de comparación de tarjetas DAIO+PC-E.

HMI			TÉCNICO		COMERCIAL			VALORACIÓN			
ITEM	MARCA	MODELO	COMUNICACION	GRADO DE PROTECCION	REPUESTOS	REPRESENTANTE NACIONAL	PRECIO	TECNICA	COMERCIAL	SOPORTE	TOTAL
1	SCHNEIDER	HMISTU655	ETHERNET MODBUS	IP55	SI	SI	806	3	4	2	9
2	BRAINCHILD	HMI-450	ETHERNET MODBUS	IP55	SI	SI	450	3	5	2	10
3	SIEMENS	6AV6642-0BA01-1AX1 /TP177B PN/DP 5,7	ETHERNET MODBUS	IP55	SI	SI	2549	3	2	2	7
REQUERIDO			ETHERNET MODBUS	>IP55	SI	SI	<700	3	5	2	10

Tabla 18.- Cuadro técnico de comparación de HMI

SOFTWARE SCADA			TÉCNICO				COMERCIAL		VALORACIÓN			
ITEM	MARCA	PRODUCTO	LICENCIA	COMUNICACION	SISTEMA OPERATIVO	SOPORTE	REPRESENTANTI NACIONAL	PRECIO	TECNICA	COMERCIAL	SOPORTE	TOTAL
1	SIEMENS	WinCC	512 TAGS	ETHERNET MODBUS	XP	SI	SI	7250	2	4	1	7
2	WONDERWARE	INTOUCH 10.0	520 TAGS	ETHERNET MODBUS	XP	SI	ROMANCEL	2100	2,5	4	2	8,5
3	NATIONAL INSTRUMENTS	LABVIEW	-	ETHERNET MODBUS	XP	SI	DataLights	3200	3	5	2	10
4	NATIONAL INSTRUMENTS	LOOKOUT	-	-	XP	NO	-	-	1	2	1	4
REQUERIDO			250 TAGS	ETHERNET MODBUS	XP	SI	SI	<2000	3	5	2	10

Tabla 19.- Cuadro técnico de comparación de software SCADA

El estudio financiero de hardware y software contemplado en las tablas 16 (Controladores), 17 (Tarjetas DAIO+PCE), 18 (HMI) y 19 (Software SCADA) fue valorado en base a criterios técnicos, comerciales y de soporte[60].

Se determinó que los siguientes equipos y software en base a su valorización final (sobre 10 puntos), son aptos para el desarrollo de la tesis:

- Controlador BTC9300 de la marca BrainChild con un promedio de 9,3/10.
- Tarjeta DAIO+PCE de la marca BrainChild con un promedio de 9/10.
- Pantalla HMI-450 de la marca BrainChild con un promedio de 10/10.
- Software SCADA LabVIEW e Intouch con un promedio de 10/10 y 8,5/10 respectivamente.

[60] Soporte: Asesoría y representación técnica.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE HARDWARE Y SOFTWARE

4.1 HARDWARE

4.1.1 DIAGRAMAS DE CONECTIVIDAD

4.1.1.1 DIAGRAMA ELECTRICO (Ver Anexo 1)

Los equipos utilizados en el módulo didáctico autónomo operan a 24V, por lo que como primer bloque operacional tenemos una fuente regulada.

Para obtener las señales de entrada utilizamos 2 potenciómetros que envían señales de 4-20 mA. a la tarjeta DAIO para simular el nivel SV de temperatura.

La señal de 0-5V se encuentra conectada al controlador BTC-9300 para simular la señal PV del nivel de tanque.

Cada equipo posee borneras de comunicación RS-485, las cuales permiten conectar en paralelo, desde el PC-E, hacia la DAIO y finalmente la BTC-9300, en la cual se coloca la resistencia de terminación de 120Ω.

El sensor de temperatura PT-100 posee 3 hilos, los cuales son conectados en las respectivas borneras de entrada de la tarjeta DAIO.

Para enlazar el PC, HMI y el PC-E se utiliza comunicación Ethernet que se encuentran conectados con cable UTP Cat. 5E desde el puerto de red PC-E hacia un switch que permite enlazar más equipos de monitorización y control.

4.1.1.2 DIAGRAMA DE BLOQUES

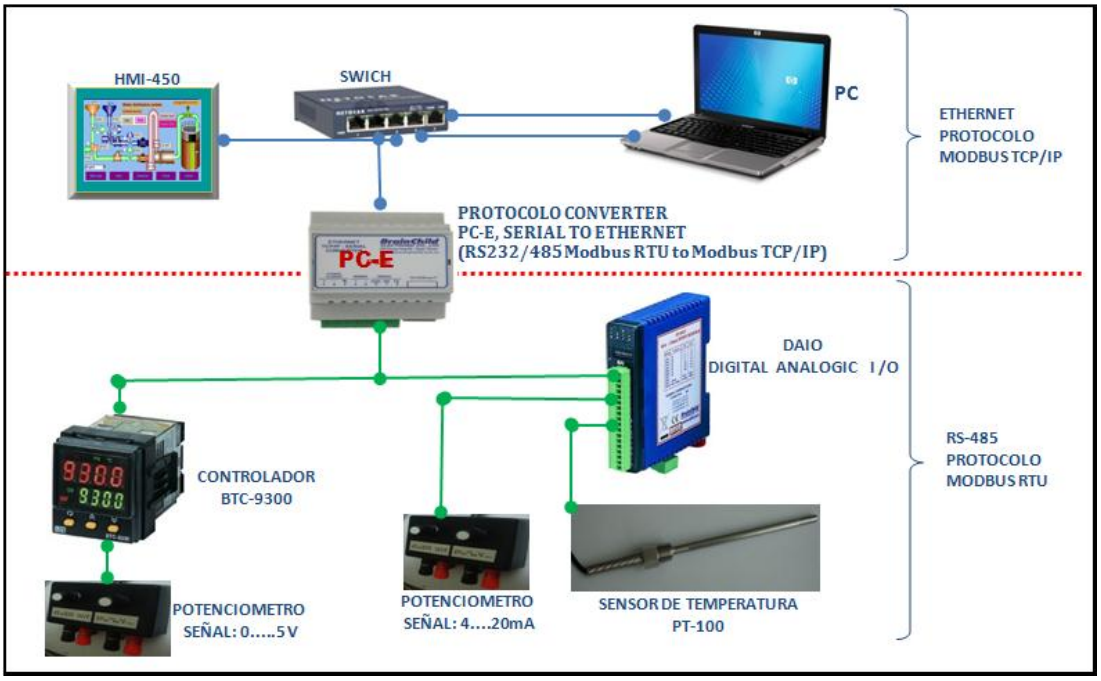


Figura 29.- Diagrama de bloques del módulo didáctico autónomo.

El propósito es permitir la monitorización, programación y supervisión remota de los instrumentos desde un PC, por tal motivo se ha seleccionado la red RS-485 porque permite la conexión de equipos hasta 300 metros y está orientado en el uso industrial.

ESPECIFICACIONES	RS-232	RS-422	RS-485
NODOS DE OPERACIÓN	TERMINACIÓN SIMPLE	DIFERENCIAL	DIFERENCIAL
N° TOTAL DE LINEAS TRANSMISORAS Y RECEPTORAS	1 Emisor 1 Receptor	1 Emisor 10 Receptores	32 Emisores 32 Receptores
DISTANCIA MÁXIMA	30 A 60 metros	1200 metros (ideal)	1200 metros (ideal)
TASA DE TRANSMISIÓN MAXIMA	20 kb/s Por especificación puede ser mayor	10 Mbits/s	10 Mbits/s

Tabla 20.- Comparación de redes industriales.

4.1.2 SENSORES Y ACTUADORES

4.1.2.1 SENSOR DE TEMPERATURA PT-100

4.1.2.1.1 *CONEXIÓN ELECTRICA*

CABLE	SEÑAL
A	RTD
B	RTD
b	COMPENSACION

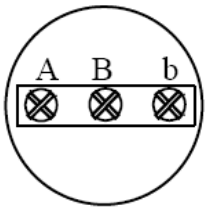


Figura 30.- Conexión eléctrica PT-100 de 3 hilos.[61]

Al tener 3 hilos el sensor de temperatura, se obtiene que tengan la misma resistencia eléctrica pues el sistema de medición se basa (casi siempre) en el "puente de Wheatstone".

4.1.2.1.2 *DIAGRAMA DE CONEXIÓN EN LA TARJETA DAIO*

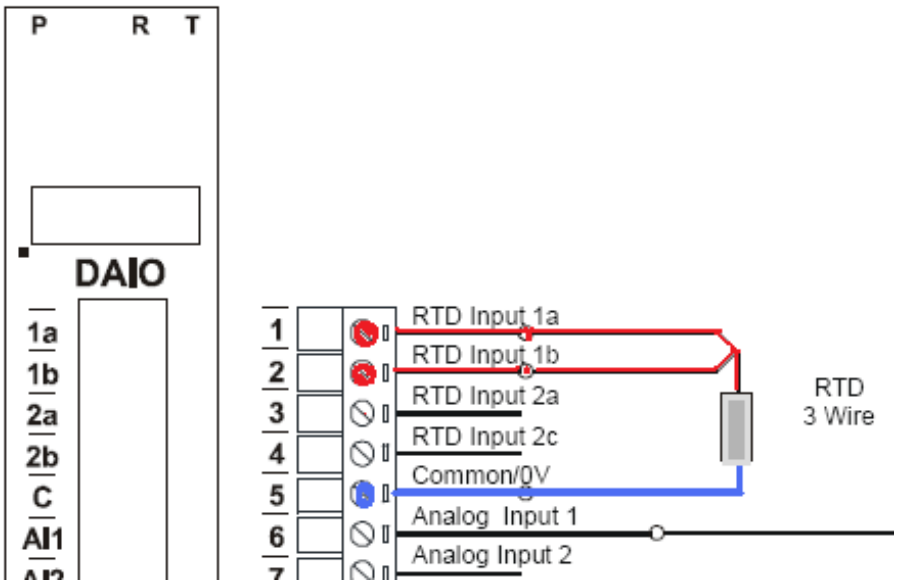


Figura 31.- Diagrama de conexión de la PT-100 en la tarjeta DAIO.[62]

4.1.3 CONTROLADORES DEDICADOS.

En base al estudio de hardware y software realizado anteriormente, se ha decidido usar para el desarrollo de esta tesis el controlador marca BrainChild, modelo BTC-9300.

[61] Arian (Control & Instrumentación), 2005
[62] BrainChild, Data Adquisition Modules/Distributed IO Modules, 2010.

4.1.3.1 CONTROLADOR DE TEMPERATURA BTC-9300

4.1.3.1.1 *CODIFICACIÓN*

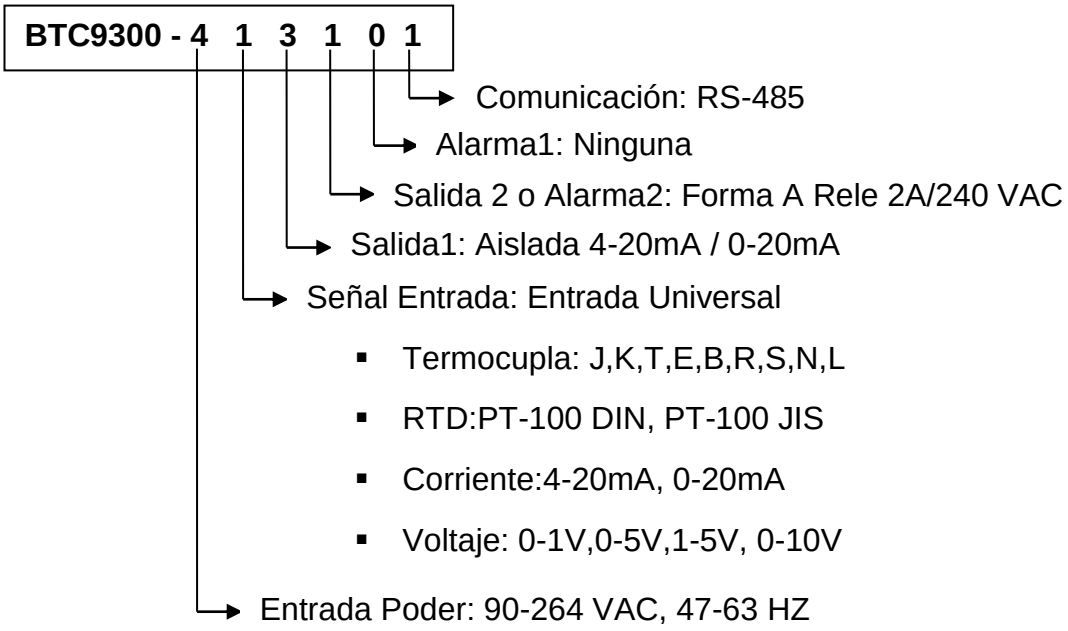

BTC9300 - 4 1 3 1 0 1
Comunicación: RS-485
Alarma1: Ninguna
Salida 2 o Alarma2: Forma A Rele 2A/240 VAC
Salida1: Aislada 4-20mA / 0-20mA
Señal Entrada: Entrada Universal
Termocupla: J,K,T,E,B,R,S,N,L
RTD:PT-100 DIN, PT-100 JIS
Corriente:4-20mA, 0-20mA
Voltaje: 0-1V,0-5V,1-5V, 0-10V
Entrada Poder: 90-264 VAC, 47-63 HZ

Figura 32.- Codificación del BTC-9300 seleccionado.

4.1.3.1.2 *CONFIGURACIÓN DEL DIP SWICH*

		DIP SWICH			
		■ :ON		□ :OFF	
		1	2	3	4
SELECCIONE ENTRADA1	TC, RTD,mV	□	□		
	0-1V,0-5V,1-5V, 0-10V	■	□		
	4-20mA, 0-20mA	□	□		
SEGURIDADES	Todos los parámetros estan desbloqueados			□	□
	Solo SP1,SEL1-SEL5* son desbloqueado			□	□
	Solo SP1 es desbloqueado			□	□
	Todos los parámetros son seleccionados			■	■
CONFIGURACIÓN DE FABRICA		□			

Tabla 21.- Configuración de DIP Switch del BTC-9300. [63]

- Entrada1: 0-5 voltios, Simulada a través del potenciómetro.

[63] BrainChild, Manual BTC-9300 Process/Temperature Controller, 2010

- Seguridades: Todos los parámetros son seleccionados, se requiere esto para realizar los ajustes de programación.

4.1.3.1.3 *PARÁMETROS BÁSICOS*

Contained in	Basic Function	Parameter Notation	Display Format	Parameter Description	Range	Default Value
Setup Menu	✓	FUNC	FunC	Function Complexity Level	1 FuLL: Full Function Mode	1
		COMM	Conn	Communication Interface Type	1 485: RS-485 interface	1
		PROT	Prot	COMM Protocol Selection	0 rtu: Modbus protocol RTU mode	0
		ADDR	Addr	Address Assignment of Digital COMM	Low: 1 High: 255	—
		BAUD	bAud	Baud Rate of Digital COMM	5 9.6: 9.6 Kbits/s baud rate	5
		DATA	dAtA	Data Bit count of Digital COMM	1 8t, t: 8 data bits	1
		PARI	PAr,	Parity Bit of Digital COMM	0 EVEn: Even parity	0
		STOP	StoP	Stop Bit Count of Digital COMM	0 1b, t: One stop bit	0
		IN1	, n 1	IN1 Sensor Type Selection	14 0-5V: 0 - 5V linear Voltage input	1 (0)

Tabla 22.- Configuración de parámetros básicos del BTC-9300. [64]

- **FUNCIÓN**= FULL, Para configurar todos los parámetros de acuerdo al proceso.
- **COMM**= 485.
- **PROT**= RTU: Seleccionamos RTU para que coincida con el driver del software Labview e Intouch.
- **ADDR**= 4: Es el nodo asignado al equipo dentro de la red RS-485.
- **BAUD**=9,6 Kb, Es la velocidad de transmisión de datos seleccionada en la PC y en todos los equipos de la red RS-485.
- **DATA**=8, Es el número de Bits del paquete de información seleccionada en la PC y en todos los equipos de la red RS-485.
- **PARI**=Even, Paridad impar, de los paquetes de información seleccionada en la PC y en todos los equipos de la red RS-485.
- **STOP**=1bit, Número de bits de parada de los paquetes de información seleccionada en la PC y en todos los equipos de la red RS-485.
- **IN1=** 0-5v: El tipo de entrada que se va a leer del proceso es una señal de voltaje de 0 a 5 voltios desde el potenciómetro.

[64] BrainChild, Manual BTC-9300 Process/Temperature Controller, 2010

4.1.3.1.4 *CONEXIÓN FÍSICA ENTRADA ANALÓGA*

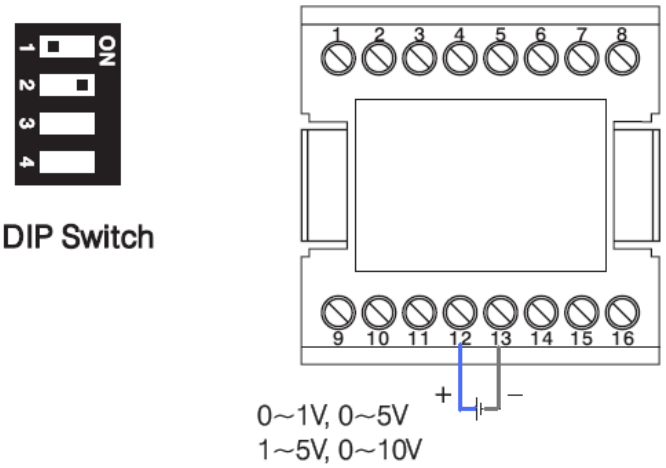


Figura 33.- Conexión de la entrada análoga del BTC-9300.[65]

Para la entrada 1 se conecta la señal de 0 a 5 voltios del potenciómetro en los pines 12 y 13, de requerir una entrada adicional, ésta será conectada en los pines 15 y 16.

4.1.4 SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

4.1.4.1 CONVERSOR PC-E

4.1.4.1.1 *PARÁMETROS BÁSICOS*

La dirección de la página web para la visualización de los parámetros de configuración es la http://192.168.0.112/index.htm y la dirección de la página web para la configuración del conversor es http://192.168.0.112/ip.htm.

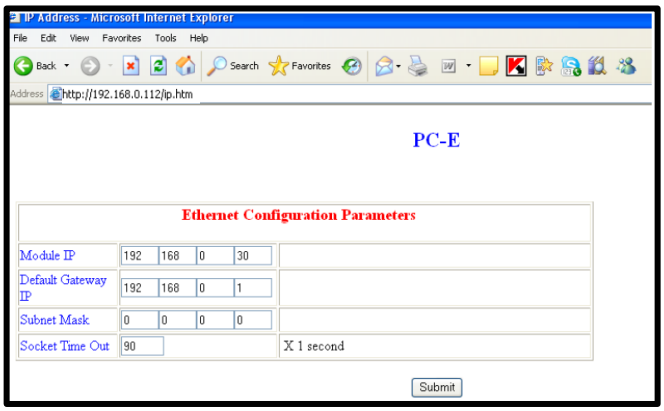

IP Address - Microsoft Internet Explorer
File Edit View Favorites Tools Help
Back Search Favorites
Address http://192.168.0.112/ip.htm
PC-E
Ethernet Configuration Parameters
Module IP 192 168 0 30
Default Gateway IP 192 168 0 1
Subnet Mask 0 0 0 0
Socket Time Out 90 X 1 second
Submit

Figura 34.- Configuración de los parámetros de red del PC-E

[65] BrainChild, Manual BTC-9300 Process/Temperature Controller, 2010

- **Module IP:** Dirección IP, debe estar dentro de la misma subred correspondiente a la PC
- **Default Gateway:** El valor asignado es “192.168.0.1”.
- Sólo es necesario configurar la puerta de enlace predeterminada si el conversor tiene acceso a una intranet o a internet.
- **Subnet Mask:** En este caso no se utiliza la máscara de subred, valor “0.0.0.0”
- La máscara de subred se utiliza para informar al conversor que se debe enviar sus respuestas a la puerta de entrada si el Dirección IP de la PC y está en una red diferente.
- **Socket Time Out:** Es el valor asignado al temporizador que debe esperar para restaurase después de una falla encontrada en la red y ser utilizado de nuevo. Si no existe actividad de comunicaciones y éste sea mayor al periodo asignado, la toma se cierra y se podrá activar cuando ésta se ha apagado y encendido nuevamente.

Para que los cambios sean guardados, haga clic en “Submit”.

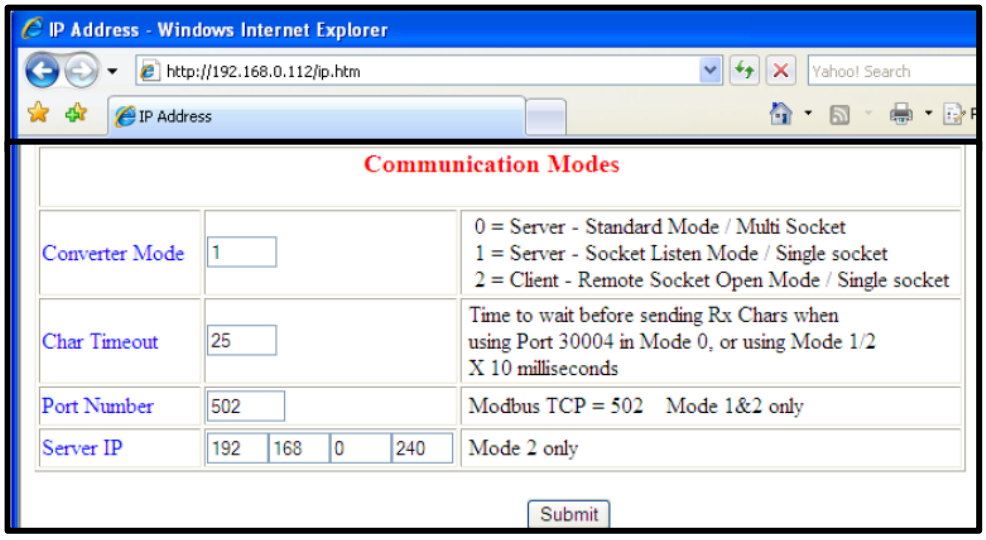


Figura 35.- Configuración de comunicación de PC-E.

- **Port Number:** 502, Es el número del puerto utilizado para la comunicación a Ethernet.
- Los demás por default, debido que son manejados desde el software del Fabricante.

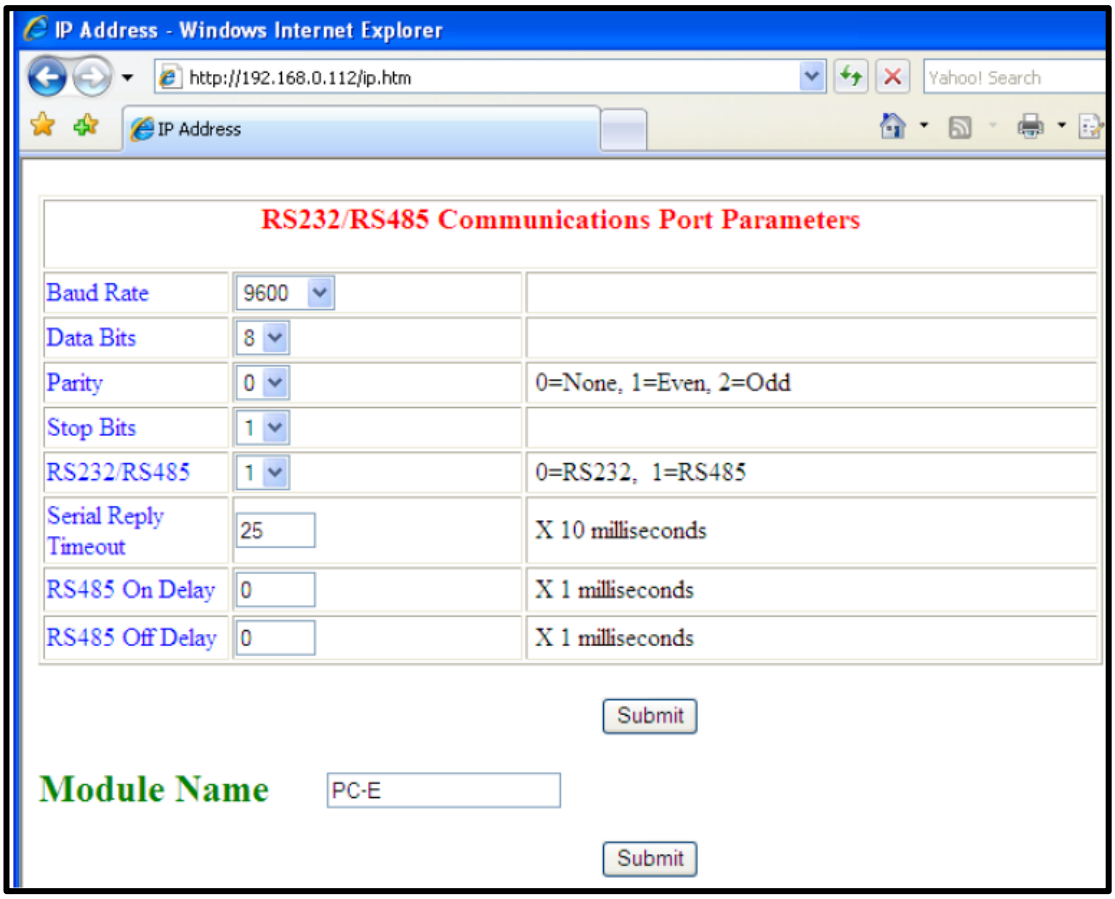


Figura 36.- Parámetros de puerto de comunicación para la PC-E

La figura muestra la configuración cargada en el equipo PC-E, que cumple con las mismas características requeridas con los demás equipos.

Luego de seleccionados los parámetros asegúrese de presionar "Submit" para cargar los valores en el PC-E, y a continuación reiniciar el equipo.

4.1.4.2 DAIO

4.1.4.2.1 *CONEXIÓN ELÉCTRICA Y COMUNICACIÓN RS-485*

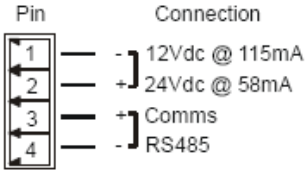


Figura 37.- Conexión eléctrica y de comunicación RS-485. [66]

[66] BrainChild, Data Adquisition Modules/Distributed IO Modules, 2010

4.1.4.2.2 *CONEXIÓN FÍSICA PT100 Y SEÑAL 4-20mA*

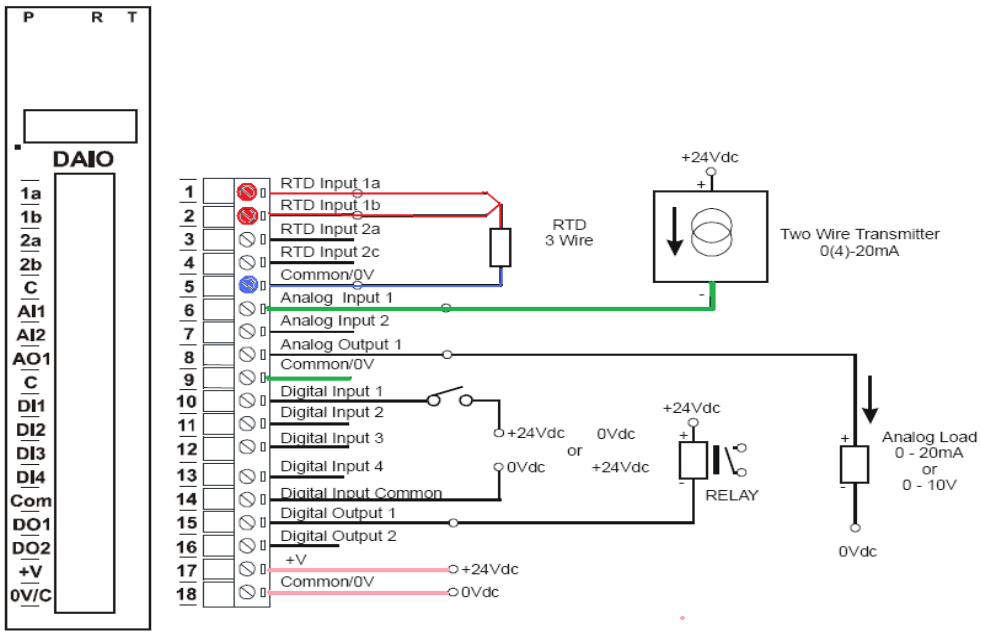


Figura 38.- Conexión física PT-100 y señal de 4-20mA. [67]

[67] BrainChild, Data Adquisition Modules/Distributed IO Modules, 2010

4.2 SOFTWARE

4.2.1 DIAGRAMAS FUNCIONALES

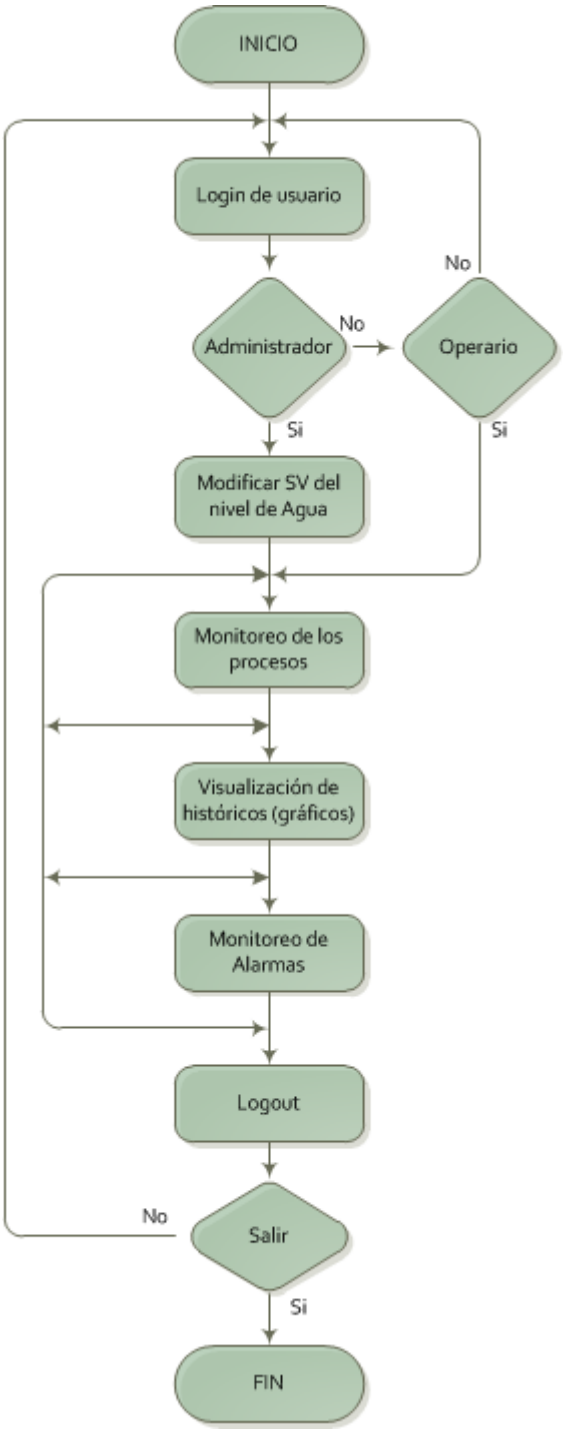


Figura 39.- Diagrama funcional del programa SCADA.

Para el desarrollo del software, existe este diagrama en común, por lo que paso a paso se revisa las fases funcionales del programa.

4.2.1.1 LOGIN

En esta etapa el usuario, sea administrador u operario, procede a identificarse dentro del programa, existirá por lo tanto la pregunta de rigor, ¿es administrador o es operario?, dependerá del usuario identificado para poder continuar con la siguiente función.

4.2.1.2 MODIFICAR NIVEL DE AGUA SV

Para esta función solamente si el usuario identificado corresponde a administrador, podrá modificar el valor SV del proceso, por lo dicho usuario tendrá la responsabilidad de manejar correctamente dicho valor, dependiendo de los requerimientos de la industria.

4.2.1.3 MONITORIZACIÓN DE LOS PROCESOS

Para dicho proceso, tendrá acceso tanto el administrador como el operario, siendo el proceso inicial para éste último.

En dicha función, el usuario podrá monitorear todas las 3 fases que contempla el proceso, estas son: Llenado del tanque, Cocción y Vaciado del tanque, logrando ver en tiempo real lo que sucede en la industria.

4.2.1.4 VISUALIZACIÓN DE HISTÓRICOS (GRÁFICOS)

Cualquier usuario podrá revisar la función de la visualización de históricos, que consiste en revisar en tiempo real, cada suceso ocurrido tanto con el nivel de agua como en la temperatura, pudiendo revisar el momento exacto en que, por ejemplo, se llenó el tanque o el momento en que se alcanzó el nivel de cocción (temperatura) deseado.

4.2.1.5 MONITORIZACIÓN DE ALARMAS

Si sucede algún desnivel o se alcanzan los límites expuestos en SV como en el PV, la monitorización de alarmas cumple la función de alertar y almacenar fecha y hora de dicho suceso, suceso que permitirá revisar los niveles de continuidad en nuestro proceso industrial.

Cabe destacar que las tres funciones anteriores, se ejecutan a la vez, pudiendo acceder en cualquier momento a cualquier función, es por eso que en nuestro diagrama funcional se indica con líneas bidireccionales tal propósito.

4.2.1.6 LOGOUT Y/O SALIR

Como última función tenemos el de finalizar la sesión de usuario, con esto, el usuario puede decidir si sale completamente o no del sistema, como también puede acceder con un nuevo o el mismo usuario.

4.2.2 DIAGRAMA DE CASOS DE USO

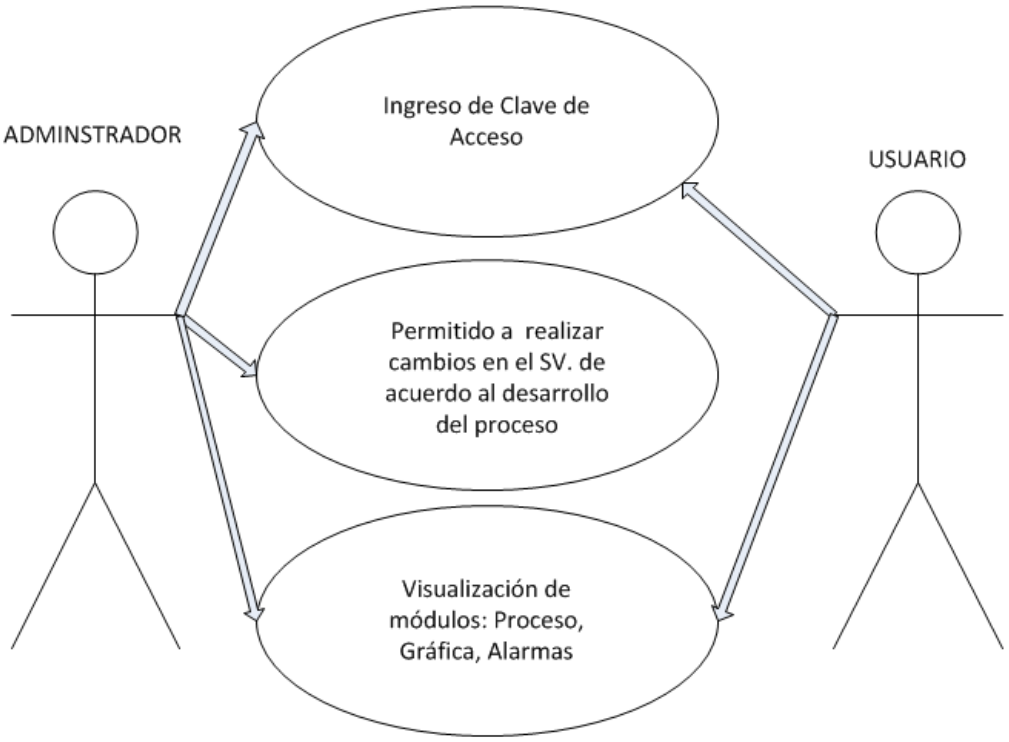

ADMINSTRADOR
Ingreso de Clave de Acceso
USUARIO
Permitido a realizar cambios en el SV. de acuerdo al desarrollo del proceso
Visualización de módulos: Proceso, Gráfica, Alarmas

Figura 40.- Diagrama de casos de uso del programa SCADA.

4.2.3 DESARROLLO DE SOFTWARE HMI/SCADA

4.2.3.1 LABVIEW

4.2.3.1.1 *INSTALACIÓN DE MODBUS LABVIEW LIBRARY*

La librería MODBUS es gratuita, consiste en un conjunto descargable de instrumentos virtuales (VI) que proporcionan la comunicación Modbus desde cualquier punto de Ethernet o puerto serie. La librería de LabVIEW implementa el

protocolo Modbus en software y ofrece la funcionalidad de maestro y esclavo. Usando la librería Modbus, los controladores de automatización programables (PACs) pueden comunicarse con los dispositivos de puerta de enlace que proporcionan conectividad a una amplia variedad de redes industriales, tales como Profibus, EthernetIP y Devicenet.[68]

Para instalar la librería, se procedió de la siguiente forma:

PASO 1: DESCARGA DE LA LIBRERÍA

Se descargó la librería de la siguiente dirección:

http://ftp.ni.com/pub/devzone/epd/nimodbus121.zip[69]

PASO 2: INSTALACIÓN

Se descomprimió el archivo descargado y se procedió a acceder a la carpeta 86 que corresponde a la última versión disponible de la librería para LabVIEW 8.6, en la que existen tres carpetas: help, user.lib y vi.lib, carpetas que se pegaron en la siguiente dirección:

C:\Archivos de Programa\National Instruments\LabVIEW 8.6\

Al momento de pegar, se reemplazó las carpetas ya existentes en la dirección indicada.

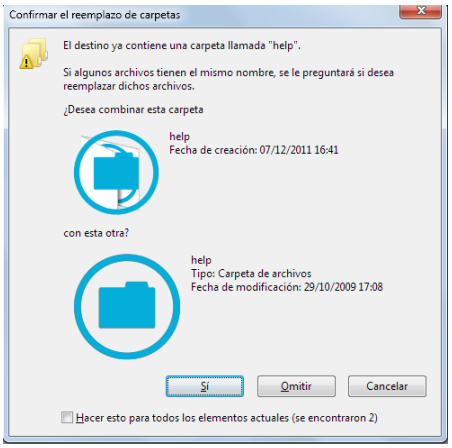

Confirmar el reemplazo de carpetas
El destino ya contiene una carpeta llamada "help".
Si algunos archivos tienen el mismo nombre, se le preguntará si desea reemplazar dichos archivos.
¿Desea combinar esta carpeta
help
Fecha de creación: 07/12/2011 16:41
con esta otra?
help
Tipo: Carpeta de archivos
Fecha de modificación: 29/10/2009 17:08
Sí
Omitir
Cancelar
Hacer esto para todos los elementos actuales (se encontraron 2)

Figura 41.- Confirmación de reemplazo de carpetas dentro de la instalación de MODBUS Library.

[68] NI Developer Zone, MODBUS Library for LabVIEW, 16/Feb/2012, http://zone.ni.com/devzone/cda/epd/p/id/4756

[69] Enlace actualizado al 26/05/12, la librería, a la fecha, está disponible hasta la versión LabVIEW 8.6

PASO 3: VERIFICACIÓN DE INSTALACIÓN

Una vez realizado la instalación, se abrió el programa LabVIEW y se comprobó la existencia de la librería, como indica la figura 42.

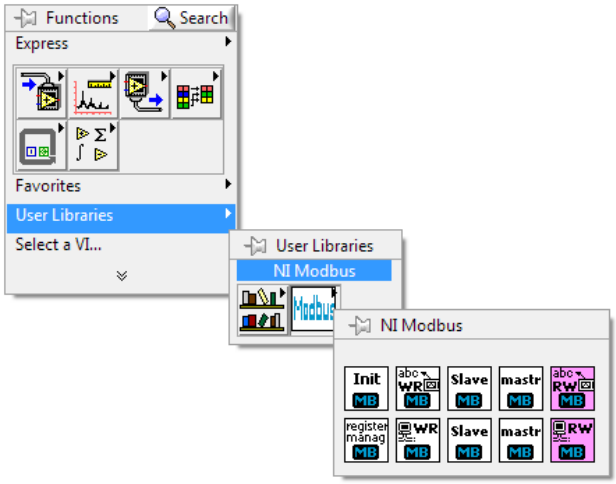


Figura 42.- Ubicación de la librería MODBUS dentro de LabVIEW.

4.2.3.1.2 *CONEXIÓN PCE*

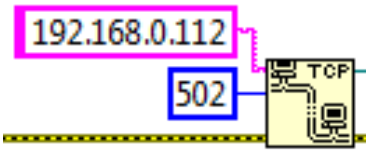


Figura 43.- Esquema de conexión de la librería TCP Open Connection Function.

La figura 43 muestra el "TCP Open Connection Function" que dentro de sus parámetros de conexión establecemos fundamentalmente dos, la dirección IP y el puerto de servicio, que en nuestro caso los valores son: 192.168.0.112 correspondiente al conversor PCE y el puerto es el 502, estándar en la comunicación Modbus TCP.

Como en todo el proceso LabVIEW existe el manejo de errores, entonces será un parámetro más de entrada de nuestra conexión.

Como salidas obtenemos la ID de conexión, que es un identificador único de la conexión, necesario para las siguientes fases del programa y el manejo de errores.

4.2.3.1.3 LECTURA-ESCRITURA BTC9300 – DAIO

FASE 1: Lectura BTC9300

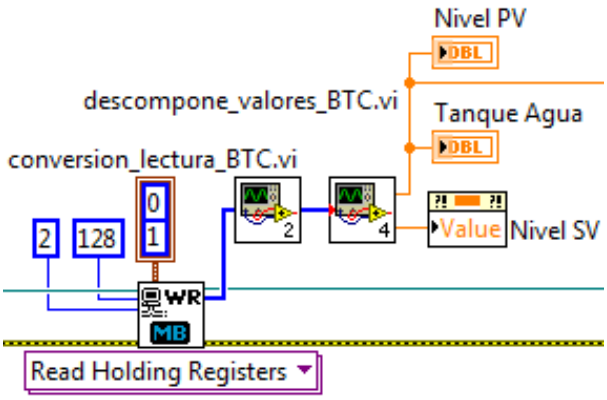


Figura 44.- Librería MODBUS en modo lectura más las etapas de conversión y descomposición de valores para la BTC 9300.

La fase de lectura está compuesto de 3 procesos, La librería Modbus (MB Ethernet Master Query Read Holding Registers), Conversión Lectura BTC y la descomposición de valores de la BTC.

a.- Librería Modbus en modo "Read Holding Registers":

Configurada para cumplir con la función de lectura de la BTC 9300.

Los parámetros necesarios son:

- Cabecera MBAP: Es un clúster que contiene el ID de transacción y el ID de la Unidad.
  - ID de transacción: Este identificador es para el emparejamiento de las transacciones.
  - ID de la Unidad: O también llamado el ID de Slave (Esclavo), identificador único del equipo dentro de la red Modbus.
- ID de Conexión: que viene del resultado de la conexión TCP anterior.
- Dirección de inicio: Se refiere a la dirección de registro que se lee dentro del ID de la Unidad. Las direcciones requeridas para la lectura son las 128 y 129 (Process Value y Set Value respectivamente) de acuerdo al manual técnico del equipo, pero en este punto únicamente se establece el valor 128 ya que en siguiente parámetro se indicará el número de direcciones a leer.

- Cantidad: Se indica el número de registros a leer.

  Dirección de inicio: 128

  Cantidad: 2

Con esto queda establecido que las direcciones de la BTC9300 que serán leídas son las 128 y 129.

- Manejo de errores, proveniente del paso anterior.

Ahora como salidas de esta librería tenemos las siguientes:

- ID de conexión: Identificador producto de la conexión TCP del paso 1.
- Holding Registers: Representa los datos leídos del BTC 9300, esto es un dato en forma de array de dos elementos, por lo que en los siguientes pasos se procede a convertir los datos y a dividirlos.
- Manejo de errores, como salida para los siguientes pasos del programa.

b.- Conversión Lectura BTC

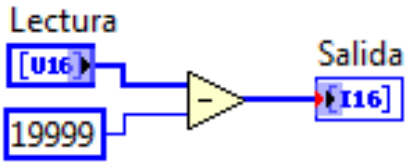


Figura 45.- Conversión de datos leídos.

Para la explicación de este SubVI, se debe tomar en cuenta algunas consideraciones establecidas en el Data Sheet del fabricante.

La escala de valores especifica la relación de transformación entre el valor del parámetro y el valor del registro. El parámetro con un valor bajo de escala se almacena en el registro con un número cero. El parámetro con un alto valor de escala se almacena en el registro con un número 65535.

Por ejemplo, si un valor R se lee desde el registro direccionado, y LS = escala de bajo valor, HS = valor de la escala alta, entonces:

El valor del parámetro= $LS + R \times (HS - LS)/65535$

Para nuestro caso, los registros 128 y 129 son registros de lectura, que especificados en el Data Sheet, tenemos lo siguiente:

$$LS = -19999$$

$$HS = 45536$$

Reemplazando en la fórmula se tiene:

$$-19999 + R \times (45536 - (-19999))/65535$$

$$-19999 + R \times (45536 + 19999)/65535$$

$$-19999 + R \times (65535)/65535$$

$$-19999 + R \times 1$$

El valor del parámetro= $R - 19999$

En conclusión, para obtener el valor del parámetro de los registros 128 y 129 se resta 19999 al valor de registro leído.

Cada valor leído (array de dos elementos) se resta 19999 y se entrega un nuevo array con los valores convertidos.

c.- Descomposición de valores de la BTC

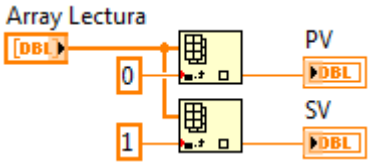


Figura 46.- Uso de la librería de descomposición de array para la BTC 9300.

Del paso anterior se obtuvo los valores de los parámetros, en este paso se descompone el array de dos elementos a cada uno de sus componentes (PV y SV) utilizando la función para extraer el n elemento de un array, los registros 128 y 129 (PV y SV respectivamente) son entregados en un array, por lo que el elemento en la posición 0 del array es el PV y el elemento en la posición 1 es el SV del proceso del control del nivel de agua para luego ser asignados tanto a la caja de texto de PV

(valor numérico) como al slider que representa el comportamiento de tanque de agua y asignar mediante la propiedad VALUE de la caja de texto de SV.

FASE 2: Escritura BTC9300

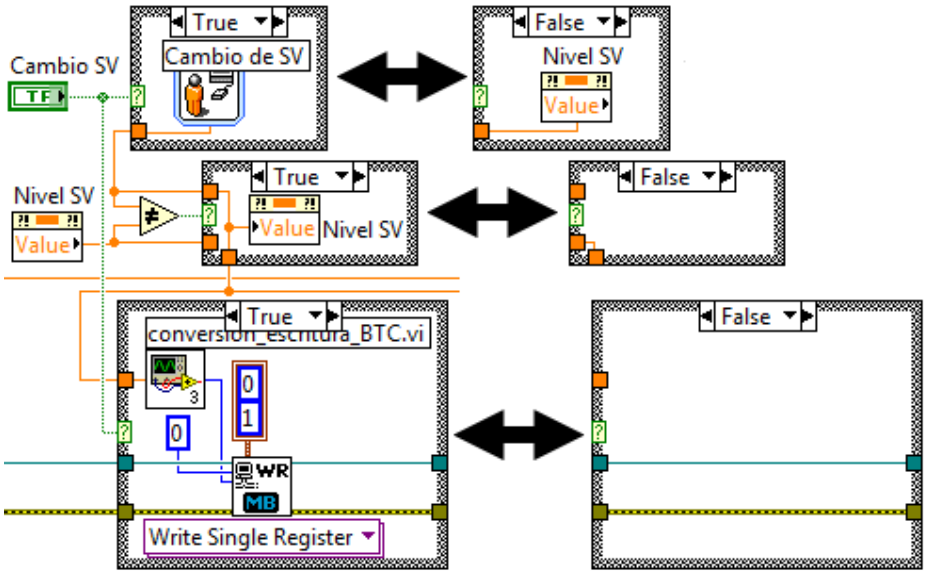


Figura 47.- Librería MODBUS en modo escritura de datos al BTC 9300.

En esta fase se maneja el cambio que tiene un botón en la pantalla del programa llamado “CAMBIAR SV”, por lo que tendrá dos posibles estados, verdadero o falso dado si se lo presiona o no a dicho botón, con lo cual se controla un cuadro de usuario para entrada de datos, que permite recibir un nuevo valor de SV.

Dado el cambio de SV realizado por el usuario, se procede a comparar el nuevo valor con el anterior SV, si es diferente entonces se asigna el nuevo valor al control “Nivel SV”, caso contrario se mantiene el mismo valor anterior como SV.

Una vez dado el cambio de valores y se haya presionado el botón “CAMBIAR SV”, se procede a la etapa de escritura de datos en el registro del BTC 9300, para eso se ejecuta dos procesos, la conversión de escritura BTC y el uso de la librería Modbus en modo “Write Single Register”.

a.- Conversión Escritura BTC

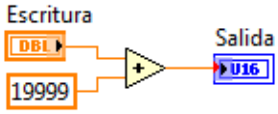


Figura 48.- Conversión de escritura de datos.

Como se pudo evidenciar en la explicación para la lectura, se toma nuevamente del manual técnico del fabricante la explicación para la escritura de datos.

De manera similar, antes de escribir el valor del parámetro para el registro direccionado, el valor W del parámetro debe ser transformado de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$(W - LS) \times 65535/(HS - LS)$$

La dirección 0 del BTC 9300 es un registro de escritura, el manual técnico del fabricante señala lo siguiente:

$$LS = -19999$$

$$HS = 45536$$

Reemplazando en la fórmula se tiene:

$$(W - (-19999)) \times 65535/(45536 - (-19999))$$

$$(W + 19999) \times 65535/(45536 + 19999)$$

$$(W + 19999) \times 65535/65535$$

$$(W + 19999) \times 1$$

El valor del parámetro al registro= $W + 19999$

En conclusión, cualquier valor que sea el nuevo SV, se sumará 19999 antes de ser escrito en el respectivo registro del BTC 9300 (dirección 0).

b.- Librería Modbus en modo "Write Single Register":

Configurada para cumplir con la función de escritura de la BTC 9300.

Los parámetros necesarios son:

- Cabecera MBAP: Es un clúster que contiene el ID de transacción y el ID de la Unidad (explicados en la parte de lectura de datos).
- ID de Conexión: Viene del resultado de la conexión TCP anterior.
- Dirección: Se refiere a la dirección de registro que se requiere escribir dentro del ID de la Unidad, siendo la dirección 0 indicada en el manual técnico del fabricante.
- Registro: El valor del registro a escribir.
- Manejo de errores, proveniente del paso anterior.

Ahora como salidas de esta librería se tiene las siguientes:

- ID de conexión: identificador producto de la conexión TCP del paso 2.
- Manejo de errores, como salida para los siguientes pasos del programa.

FASE 3: Lectura módulo DAIO

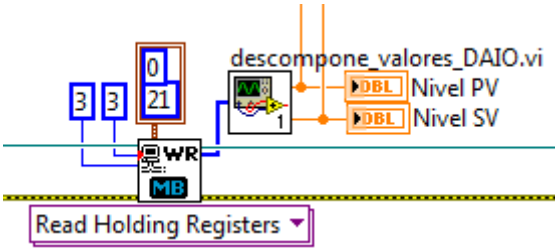


Figura 49.- Librería MODBUS en modo lectura más la etapa de descomposición de valores DAIO.

La fase de lectura está compuesto de 2 procesos, La librería Modbus (MB Ethernet Master Query Read Holding Registers) y la descomposición de valores de la DAIO.

a.- Librería Modbus en modo "Read Holding Registers":

Explicado anteriormente, podemos señalar que la librería contiene 3 cambios con respecto al BTC9300, el ID de Unidad (21), la dirección de inicio (3) y el número de direcciones a leer (3).

La dirección 3 y 5 (según el manual técnico del fabricante) corresponden a las direcciones de PV y SV de nuestro sistema, por lo que se puede optimizar el código del programa realizando la lectura de tres direcciones a la vez y así formar un arreglo de valores para que a paso seguido se realice la descomposición.

b.- Descomposición de Valores DAIO:

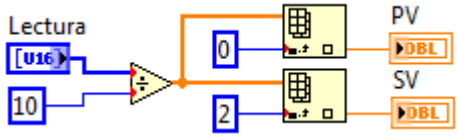


Figura 50.- Descomposición de valores de array

Como resultado del paso anterior tenemos un arreglo de 3 valores y los valores necesarios son el valor en la posición 0 y en la posición 2 correspondientes al PV y SV de la temperatura del sistema, para lo cual se utiliza la función de manejo del índice en un arreglo con lo cual se extrae el valor de la posición 0 y 2.

4.2.3.1.4 GRAFICAS, ORDEN DE PROCESOS Y ALARMAS

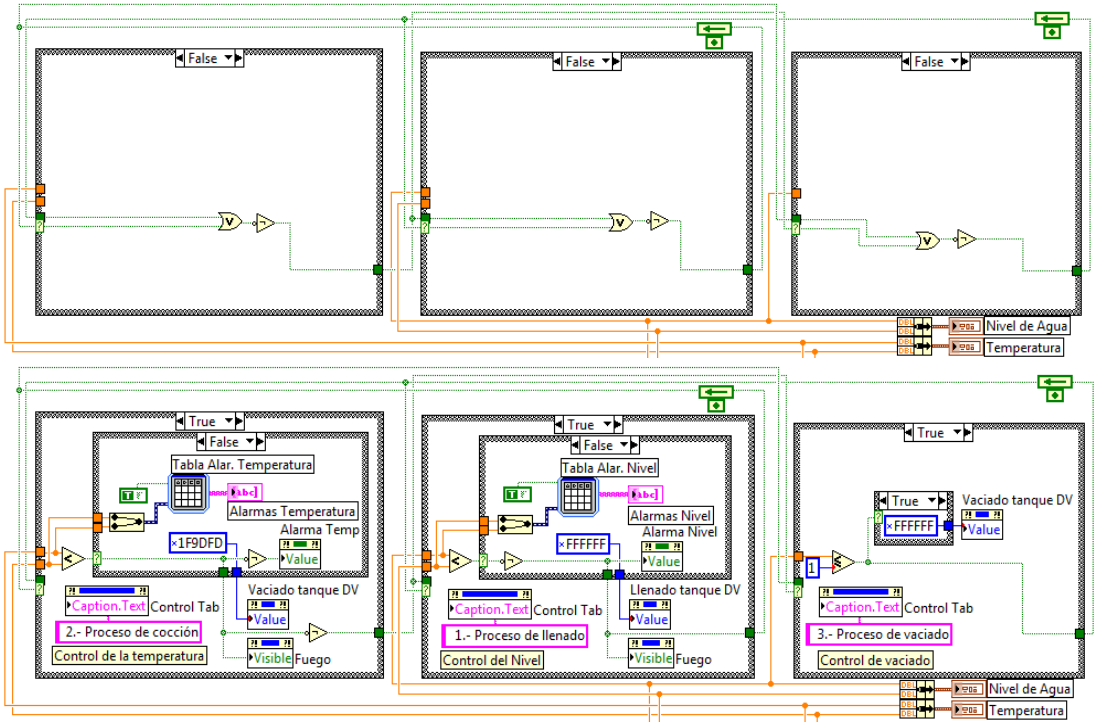


Figura 51.- Esquema de control de ejecución de procesos concretos.

INTRODUCCIÓN

Para el proceso de gráficos de nuestro SCADA se procede a armar los dos grupos de valores (temperatura y nivel) en un cluster por cada grupo para así proceder a utilizar un chart para generar el gráfico.

La siguiente parte del programa controla la ejecución de tres procesos en un orden específico, proceso de llenado, de cocción y de vaciado, y para que esto se cumpla, solamente puede estar activado uno de ellos, por ejemplo, no puede vaciarse mientras se esté cociendo o se esté cociendo mientras se llene el tanque, para lograr este acometido se procede a controlar los estados TRUE y FALSE de cada estructura de cada proceso, procediendo a activar un solo TRUE de un solo proceso a la vez, realizamos el pequeño cálculo basado en el comportamiento de la compuerta OR con una negación, manejada desde los estados FALSE de las estructuras de los procesos, al manejar dichas retroalimentaciones entre estructuras, lógicamente se crearán feedbacks (dos para ser específicos) que realizarán la tarea del almacenar un valor de las ejecuciones de los estados de las estructuras de los procesos antes mencionados, esto sirve para la alimentación de la activación del estado correspondiente, dependiendo de los valores antes almacenados de los procesos ejecutados.

FASE 1: Proceso de llenado

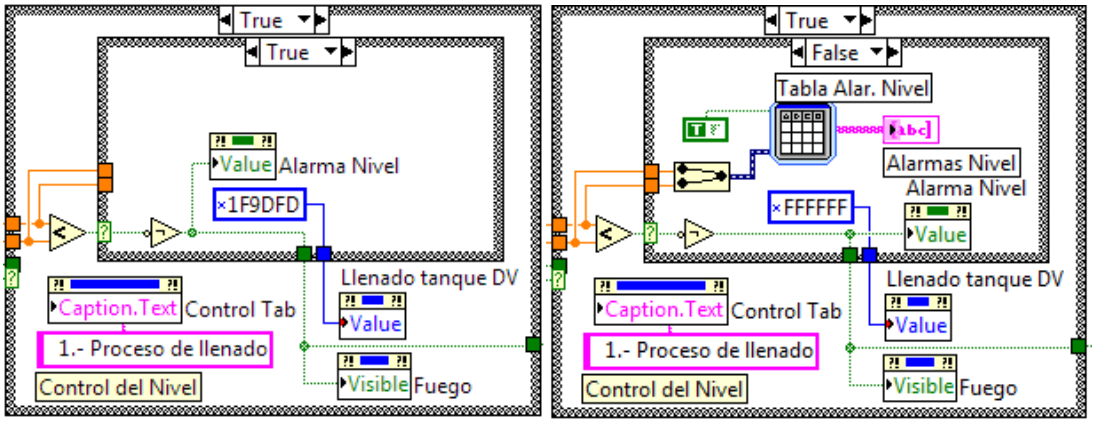


Figura 52.- Control del proceso de llenado.

En esta etapa se compara el nivel del agua, si PV < SV, mientras esto suceda se setean variables (ver figura 52) y la alarma permanece apagada, caso contrario se activa los valores a cargar, producto de la generación de la alarma correspondiente y además se envía la señal TRUE para que se pueda ejecutar el proceso 2.

FASE 2: Proceso de cocción

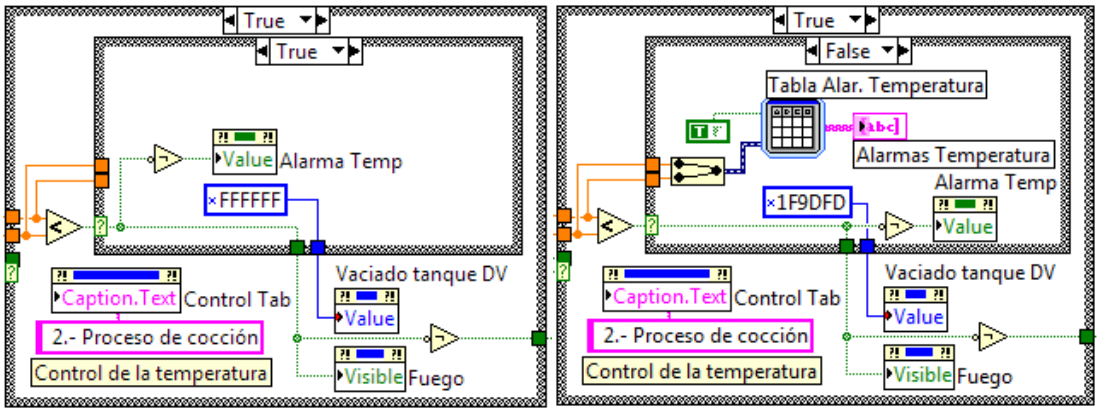


Figura 53.- Control del proceso de cocción.

En esta etapa se compara el valor de temperatura, si PV < SV, mientras esto suceda se setean variables (ver figura 53) y la alarma permanece apagada, caso contrario se activa los valores a cargar, producto de la generación de la alarma correspondiente y además se envía la señal TRUE para que se pueda ejecutar el proceso 3.

FASE 3: Proceso de vaciado

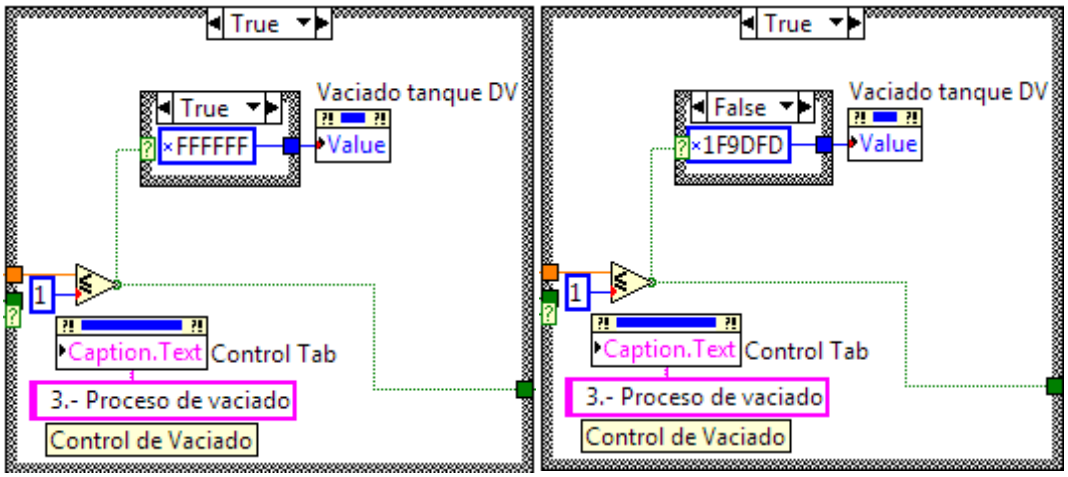


Figura 54.- Control del proceso de vaciado.

En esta etapa se compara el valor del nivel de agua, si PV <=1, esto debido a que es la única manera de determinar si el tanque está vacío, midiendo el valor de PV, entre más bajo lo sea, determinaremos que está vacío, mientras esto no suceda se setean variables (ver figura), caso contrario se activa el valor de TRUE para poder enviarlo al proceso 1.

4.2.3.2 INTOUCH

4.2.3.2.1 CONFIGURACIÓN- NODO1: BTC-9300

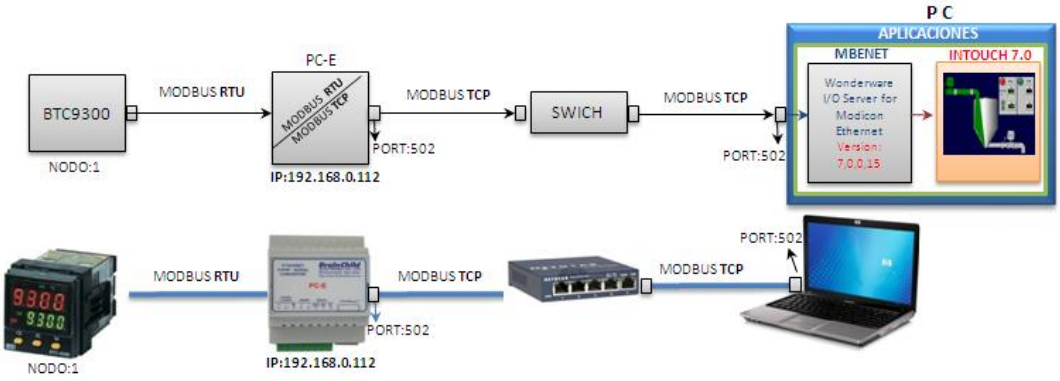


Figura 55.- Conexión de red BTC-9300 al PC.

CONFIGURACION DEL MBENET

El MBENET de la marca WONDERWARE permite la conectividad entre el computador y el equipo BTC-9300 y debe ser configurado con los siguientes pasos:

1. Abrir el programa **Modicon Ethernet**.

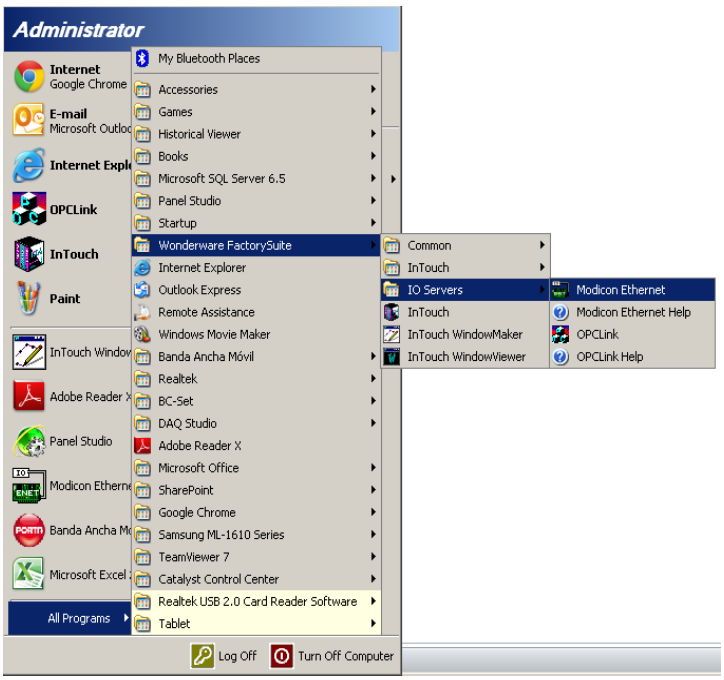


Figura 56.- Ubicación del programa Modicon Ethernet.

2. Hacer clic en "**Configure**", seleccionar "**Topic Definition**" y seleccionar "**New**".

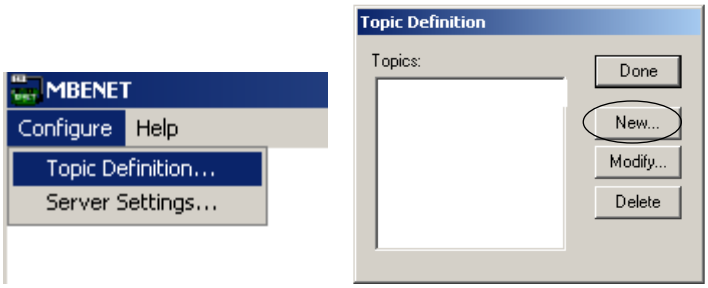


Figura 57.- Acceso a configuración Modicon Ethernet.

3. En la siguiente pantalla, ingresar los datos.

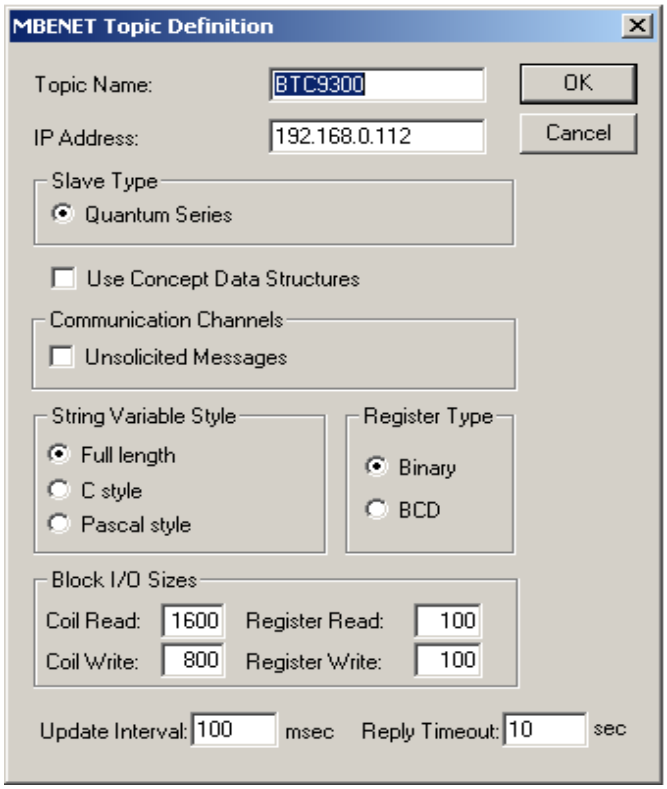


Figura 58.- Cuadro de configuración MBNET.

- **Topic Name:** "BTC9300", es el nombre que será usado desde el Intouch en el Access Name.
- **IP Address:** "192.168.0.112", que corresponde a la dirección del conversor PCE.
- Los demás datos por default.

CONFIGURACION DEL CONTROLADOR BTC-9300

1. Abrir el programa **Intouch.**

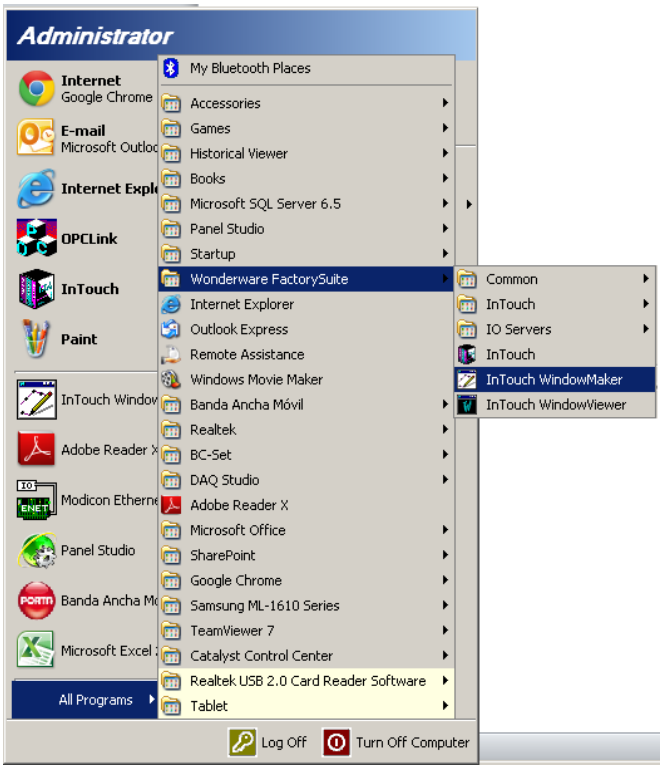


Figura 59.- Ubicación del programa Intouch.

2. Hacer clic en "**Special**" - "**Access Names**", y luego en "**Add**".

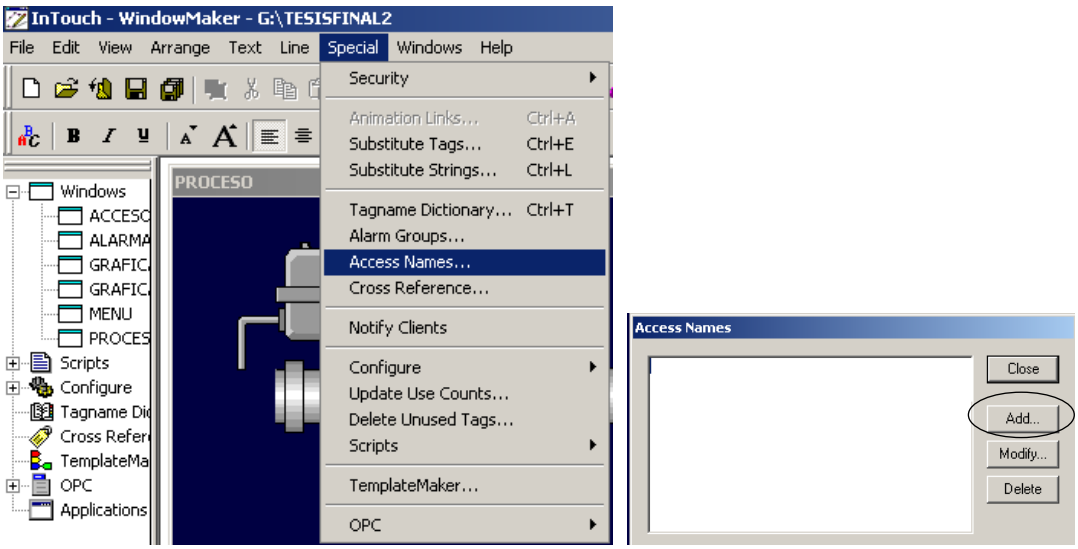


Figura 60.- Creación de nombres del acceso desde Intouch para la BTC-9300.

3. Ingresar los datos en la pantalla.

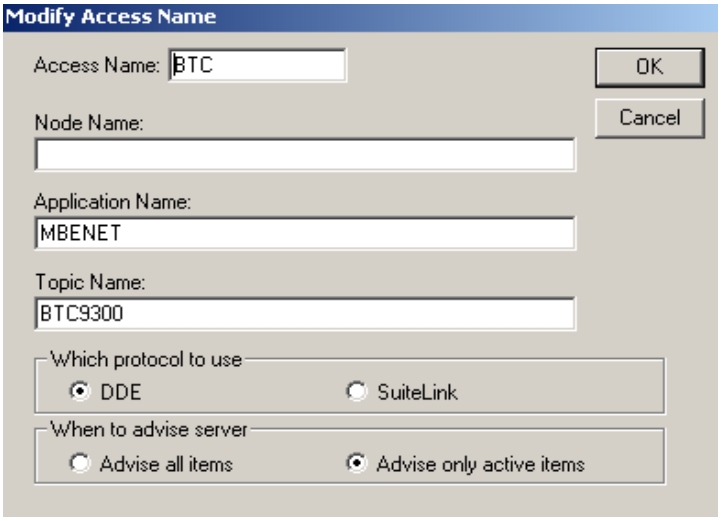


Figura 61.- Creación del acceso al controlador BTC-9300.

- **Access Name:** "BTC", es un nombre cualquiera.
- **Application Name:** "MBENET" , es el nombre de la aplicación que conecta al BTC-9300.
- **Topic Name:** "BTC9300", es el nombre que se configuro en la aplicación MBENET.
- DDE, seleccionado por que es el protocolo que usa el MBENET.
- Advise only active ítems, es seleccionado por que indica actualizar solo las variables que estén activas y así mejorar la velocidad de comunicación.
- Hacer clic en OK.

4.2.3.2.2 CONFIGURACION- NODO21: IO-DAIO

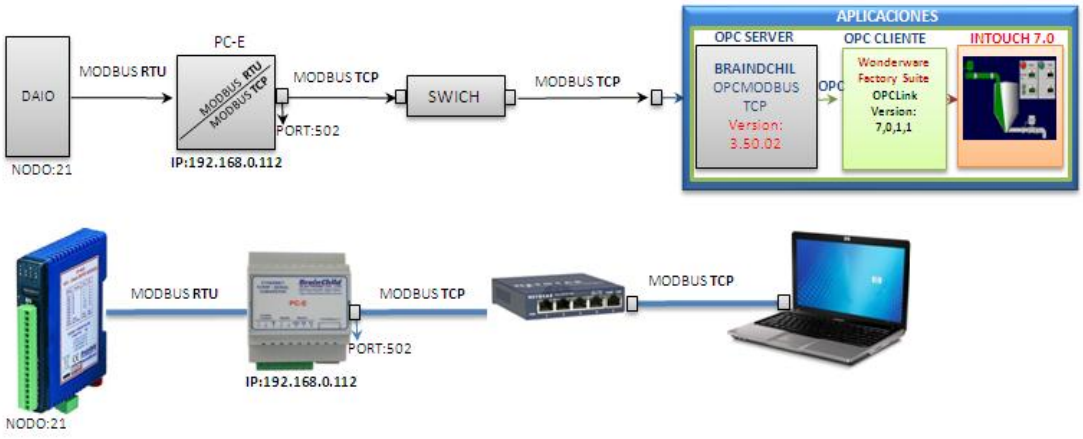


Figura 62.- Conexión de red DAIO al PC.

CONFIGURACION DEL OPC SERVER

El OPC SERVER de la Marca BRAINCHILD permite la conectividad entre el computador y la tarjeta DAIO. Debe ser configurado con los siguientes pasos:

1. Abrir el programa "PANEL STUDIO" y haga clic en "Crear un nuevo proyecto"

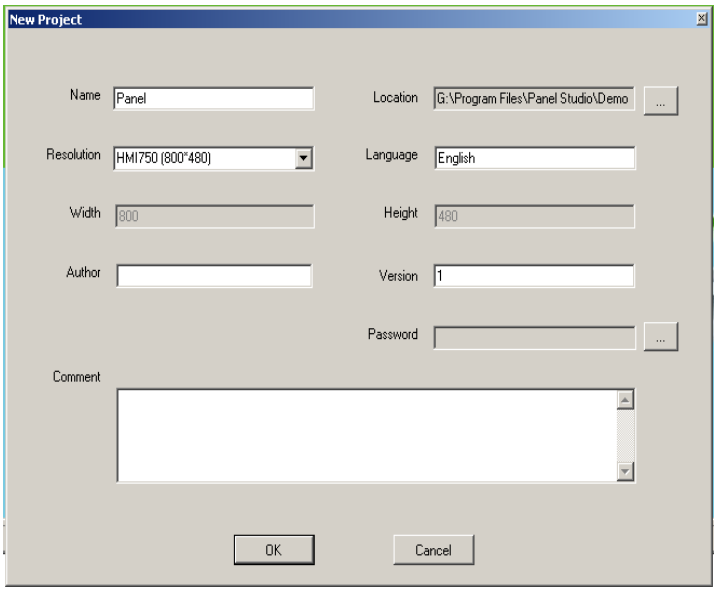


Figura 63.- Creación de un proyecto en Panel Studio para configurar el OPC Server.

- **Name:** Escribir el nombre Ejemplo "Panel".
- **Location:** Escribir la dirección donde se guardara el proyecto Ejemplo "G:\Program Files\Panel Studio\Demo Project".
- **Resolution:** Hace referencia al tamaño de la pantalla HMI donde va a guardar las pantallas.
- **Language**: Escriba el idioma English y haga clic en "**OK**".

2. Hacer doble clic en "**Connection**".

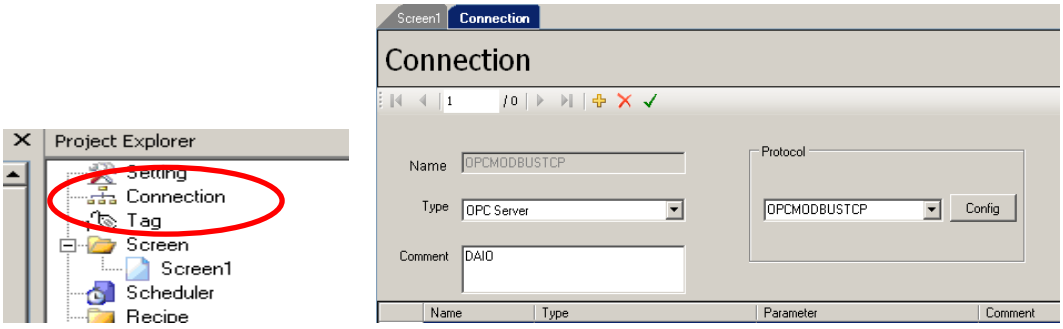


Figura 64.- Configuración del OPC Modbus TCP.

- Para agregar una conexión, haga clic en .
- **Type:** “OPC Server”.
- **Comment:** “Comentario”.
- **Protocol:** Se selecciona el tipo de protocolo con el que se dese comunicar con los equipos, en este caso “**OPCMODBUSTCP**”.
- Para guardar lo seleccionado dar clic en .
- Si desea eliminar la conexión dar clic en .
- Hacer clic en “**Config**” para configurar el OPC Server.

3. Hacer clic derecho en “**Address Space**” y seleccione: “**New**” - “**Device**”.

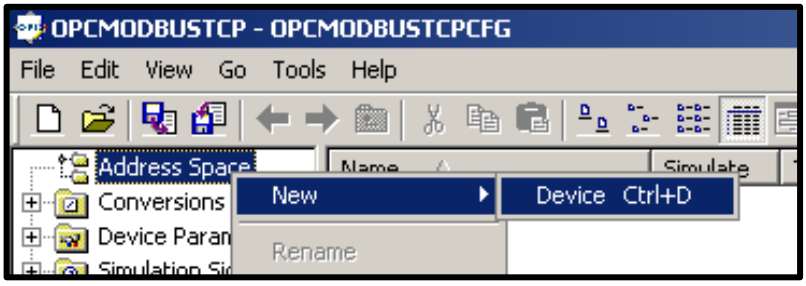


Figura 65.- Ubicación del menú "Device" dentro del OPC Modbus TCP.

4. Completar la siguiente pantalla

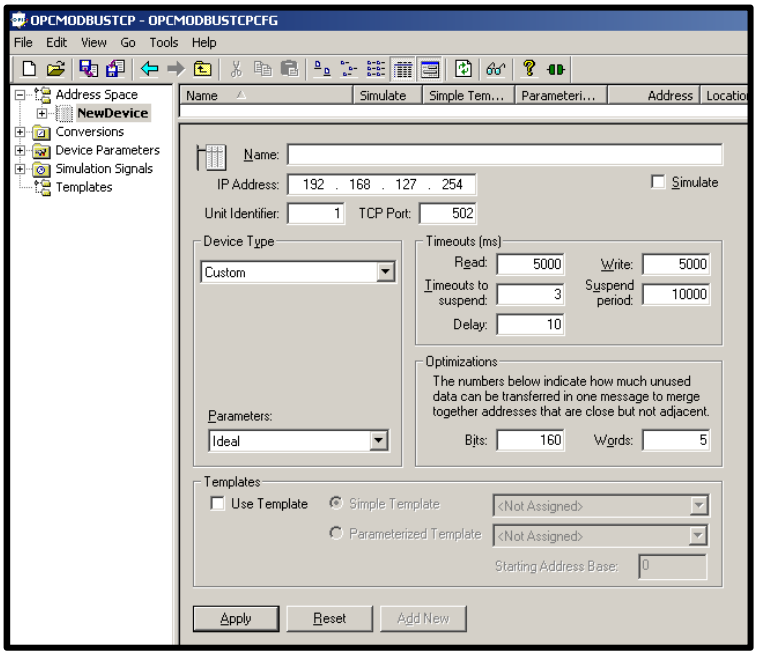


Figura 66.- Configuración OPC Modbus TCP para la tarjeta DAIO.

- **Name**: Ingresar el nombre, por ejemplo, DAIO, nombre del equipo que deseo conectar.
- **Ip Address**: Ingresar la dirección IP del equipo PCE "**192.168.0.112**".
- **Unit Identifier**: Ingresar el nodo del equipo DAIO, "**1**".
- Los demás campos quedan por default.
- Hacer clic en "**Apply**".

5. Hacer clic derecho en DAIO, seleccionar "New", dar clic en "Data Item"

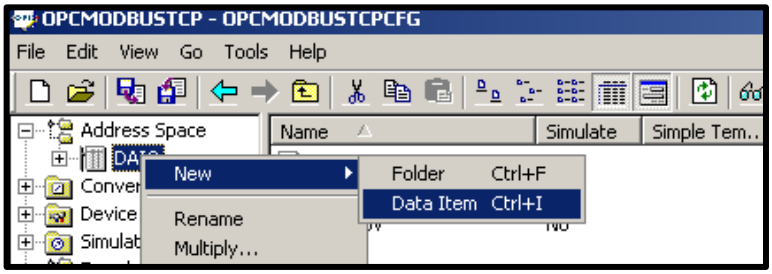


Figura 67.- Ubicación del menú Data Item del OPC Modbus TCP.

6. Ingresar los datos en la siguiente pantalla.

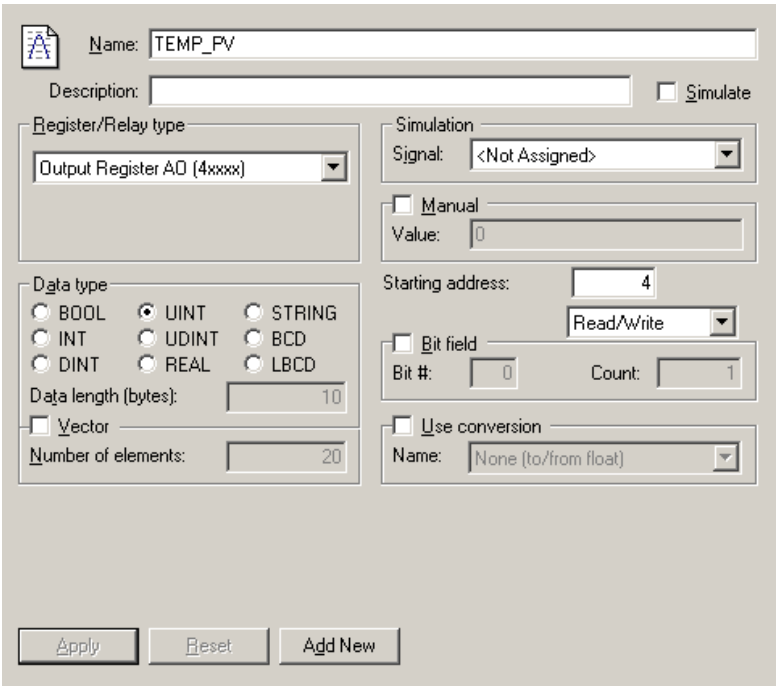


Figura 68.- Creación de la variable TEMP_PV dentro del OPC Modbus TCP.

- **Name:** Ingresar "TEM_PV", que corresponde al nombre de la temperatura del proceso.

- **Starting address:** “4”, es la dirección MODBUS de acuerdo al manual del equipo DAIO para la entrada de PT100.
- **Register/Relay Type:** 4xxxx por usar función 4, **Data type:** UINT por ser un entero corto.
- Los demás valores son por default.
- Hacer clic en “**Apply**” y luego en “**Add New**”.

7. Ingresar los datos en la siguiente pantalla.

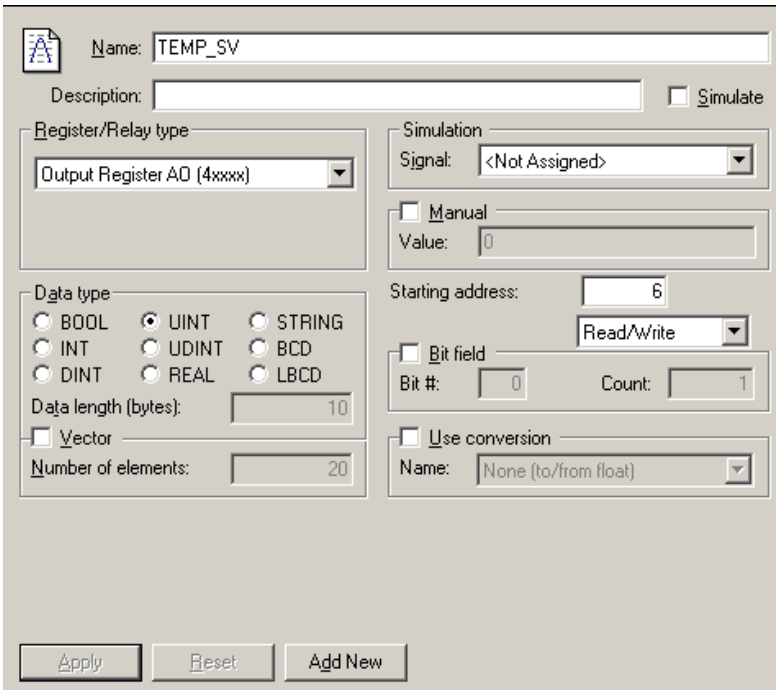


Figura 69.- Creación de la variable TEMP_SV dentro del OPC Modbus TCP.

- **Name:** Ingresar “TEM_SV”, es el nombre de la consigna de temperatura del proceso.
- **Starting address:** “6”, es la dirección MODBUS de acuerdo al manual del equipo DAIO para consigna del proceso, la cual a sido direccionada dentro de la DAIO para tomar el valor de la entrada analógica de 0-5V.
- **Register/Relay Type:** 4xxxx por usar función 4, **Data type:** UINT por ser un entero corto.
- Los demás valores son por default.
- Hacer clic en “**Apply**”.

CONFIGURACION DEL OPCLINK

Este programa de la marca WONDERWARE permite la conectividad entre el INTOUCH y el OPCSERVER, debe ser configurado con los siguientes pasos:

1. Abrir el programa OPCLink.

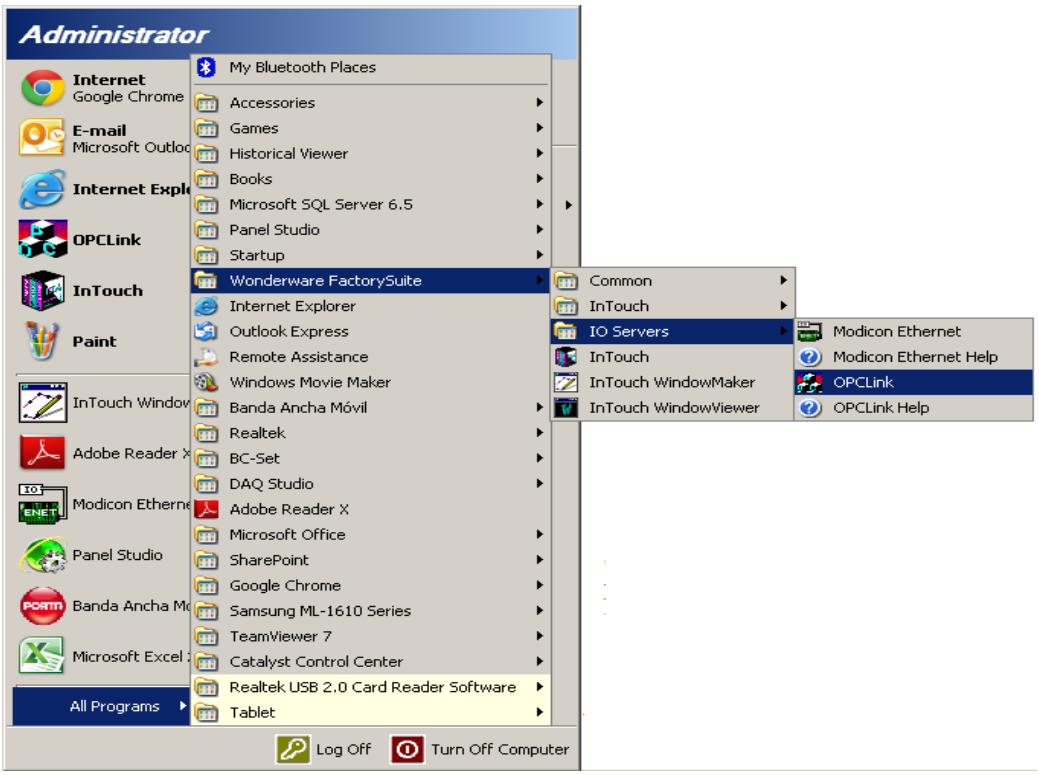


Figura 70.- Ubicación del programa OPCLink.

2. En la pantalla OPCLink hacer clic en "**Configure**", seleccionar "**Topic Definition**" y luego "**New**".

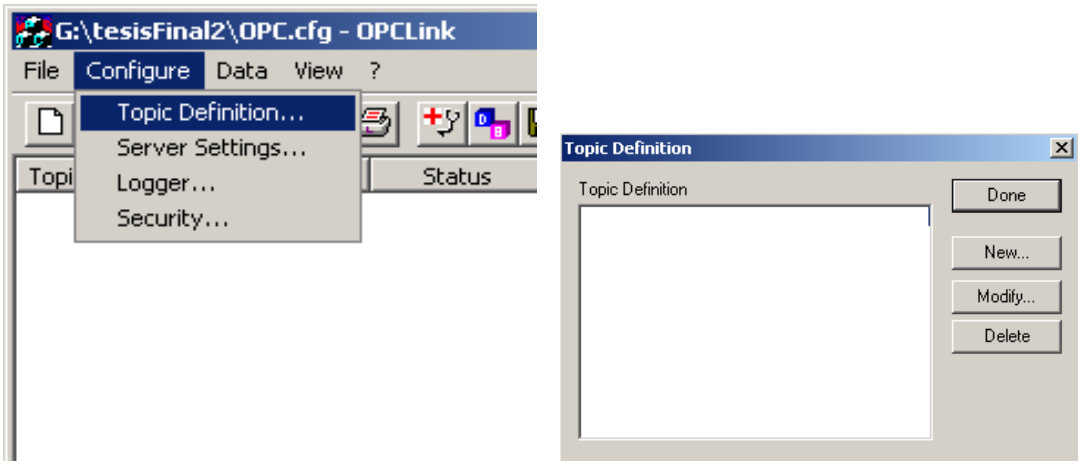


Figura 71.- Ubicación del menú "Topic Definition" dentro del OPCLink.

3. Ingresar los datos.

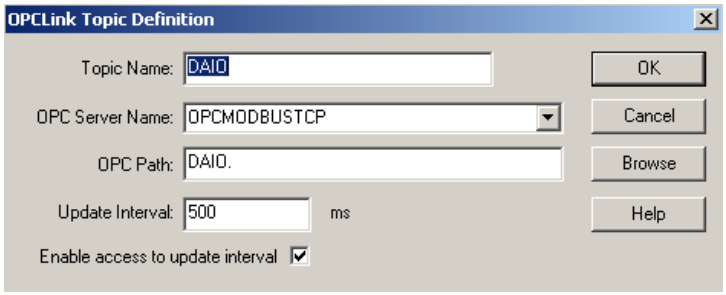


Figura 72.- Configuración de la tarjeta DAIO en el OPCLink.

- **Topic Name:** "**DAIO**", ingresar un nombre cualquiera.
- **OPCServer Name:** "**OPCMODBUSTCP**", es el nombre del OPCServer.
- **OPCPath:** "**DAIO.**", es el nombre reservado para acceso por medio del programa OPCServer.
- Otros datos por default.

CONFIGURACION INTOUCH PARA LA TARJETA I/O DAIO

1. Abrir el programa Intouch.

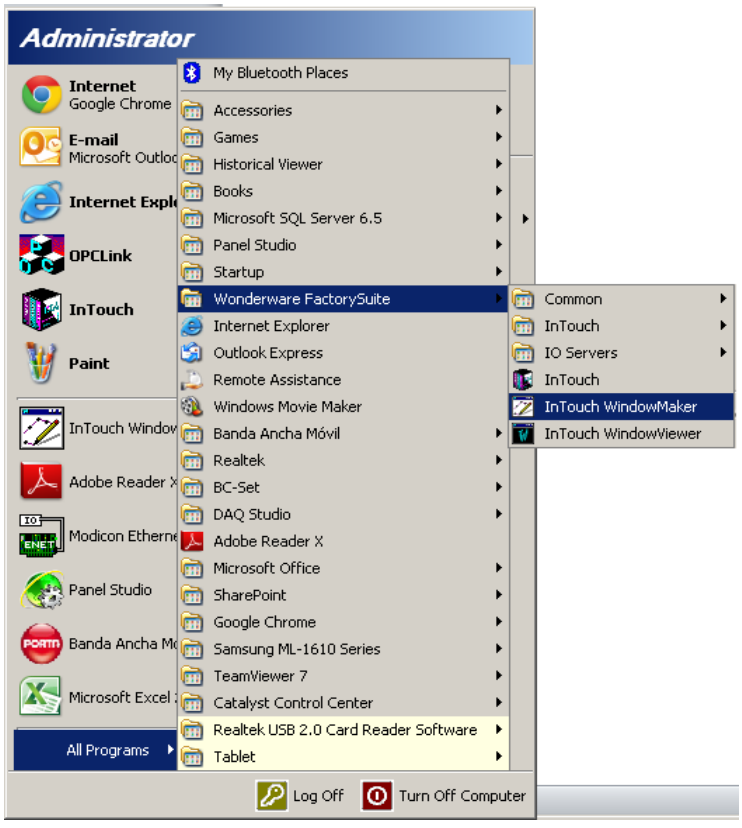


Figura 73.- Ubicación del programa Intouch.

2. Hacer clic en “**Special**” - “**Access Names**” y luego hacer clic en “**Add**”.

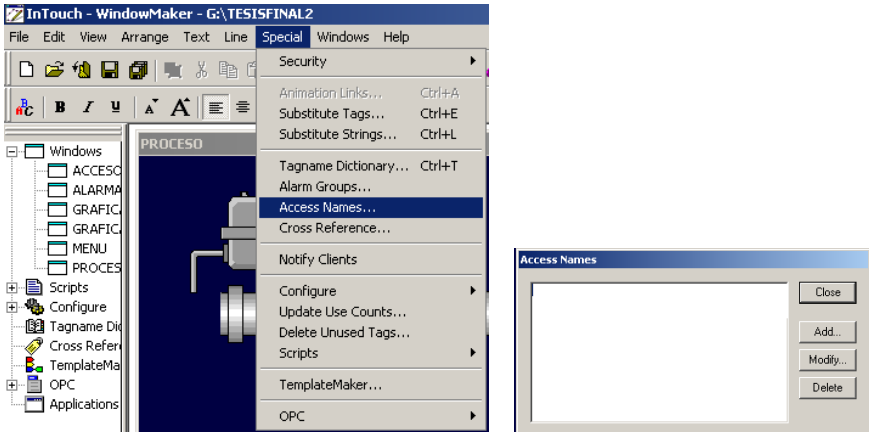


Figura 74.- Creación de nombres del acceso desde Intouch para la DAIO.

3. Ingresar los datos en la pantalla.

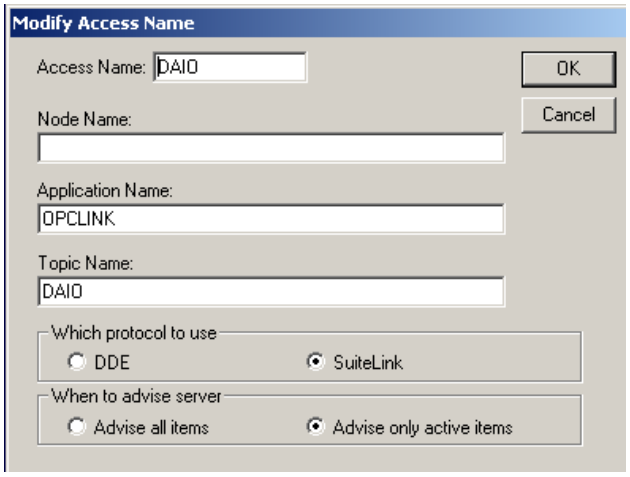


Figura 75.- Creación del acceso a la DAIO.

- **Access Name:** “DAIO”, es un nombre cualquiera.
- **Application Name:** “OPCLINK” , es el nombre de la aplicación que conecta al equipo DAIO.
- **Topic Name:** “DAIO”, es el nombre que se configuro en la aplicación OPCLINK.
- SuiteLink, seleccionado por que es el protocolo que usa el OPCLINK.
- Advise only active ítems, es seleccionado por que indica actualizar solo las variables que estén activas y así mejorar la velocidad de comunicación.
- Hacer clic en OK.

CAPÍTULO 5. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

5.1 VALIDACIÓN Y PRUEBAS FUNCIONALES.

5.1.1 LIBRERÍA MODBUS TCP PARA LABVIEW

Al momento del desarrollo del software se encontró un primer obstáculo, adquirir una librería Modbus TCP para LabVIEW actualizada, el problema que se enfrentó fue que se instaló LabVIEW 2010, que para entonces no se conocía de dicha librería, por lo que se revisó las funciones VISA y TCP de LabVIEW, llegando a la conclusión que para el tema de tesis no consiste en desarrollar una librería actualizada de dicha conexión, en el internet se encuentra la librería oficial dentro de los foros de LabVIEW, La librería se llama Modbus LabVIEW en la última versión para LabVIEW 8.6, se desinstaló la versión 2010 para desarrollar la tesis en LabVIEW 8.6.

5.1.2 LECTURA DE REGISTRO DEL DISPOSITIVO BTC 9300

En el desarrollo de ejemplos de conexión se encontró con una particularidad, cualquiera de los registros de lectura del dispositivo BTC 9300, leídos desde Intouch o LabVIEW, desplegó un valor no interpretativo, por ejemplo, en la pantalla del BTC 9300 señalaba 25 pero en la lectura del registro se obtenía 20024, se restó 19999 en los dos programas para obtener el valor real, valor que luego de revisar el manual de usuario del fabricante se pudo justificar (ver página 105).

5.1.3 ESCRITURA DE REGISTRO EN EL DISPOSITIVO BTC 9300

En la implementación en línea[70], tanto de Intouch como Labview, existió el problema que se lo denominará “cabeceo”, el cual consiste en que si escribe el valor SV al dispositivo BTC 9300 desde cualquier software, el otro hacía lo contrario, es decir, escribía el valor anterior que éste mantenía, por lo que tanto Intouch como LabVIEW procedían a tratar de escribir o imponer su valor SV encontrados en sus programas, dicho problema se resolvió con criterios de programación como, por ejemplo, el

[70] Nos referimos en línea cuando colocamos un switch para obtener 2 o más dispositivos conectados por la misma línea de red, en nuestro caso dos computadores con Intouch y LabVIEW respectivamente.

valor de SV sólo sea escrito siempre y cuando se pulse un botón para dicho propósito, caso contrario no escriba ningún valor SV.

5.1.4 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN EN LA RED RS-485

Los valores detallados en la tabla siguiente, se adquirió en base a una implementación realizada en la ciudad de Lasso y comparó con el desarrollo del tema de tesis.

N° NODOS	DISTANCIA METROS	RESISTENCIA EN NODO FINAL	BAUDIOS	TIPO CABLE	TX / RX
2	3 m.	NO	9600	No retorcido	BIEN
2	250 m.	220 Ω	9600	Retorcido	BIEN
6	250 m.	Solo en PC-E usando puente	9600	Retorcido	MALA
6	250 m.	120 Ω	9600	Retorcido	MALA
6	**250 m.**	**220 Ω**	**9600**	**Retorcido**	**BIEN**

Tabla 23.- Características de comunicación RS-485 real (ciudad de Lasso) con lo implementado en la presente tesis.

5.1.4.1 DIAGRAMA DE CONEXIÓN RECOMENDADO EN LA DAIO

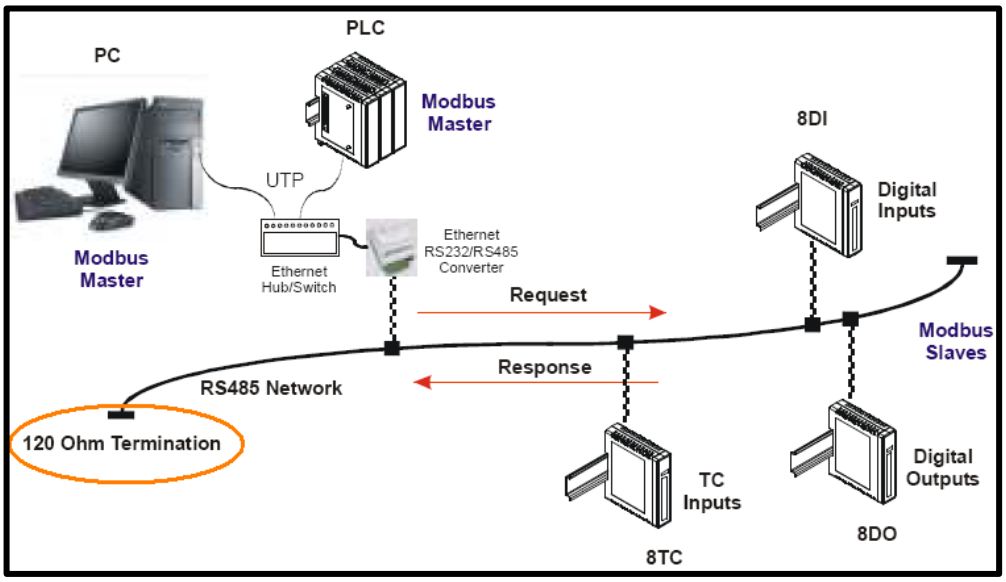


Figura 76.- Diagrama de conexión recomendado por el fabricante para la DAIO.[71]

[71] BrainChild, Manual Protocol Converter PC-E Serial to Ethernet, 2010.

5.1.4.2 CONEXIÓN RECOMENDADO EN EL BTC9300

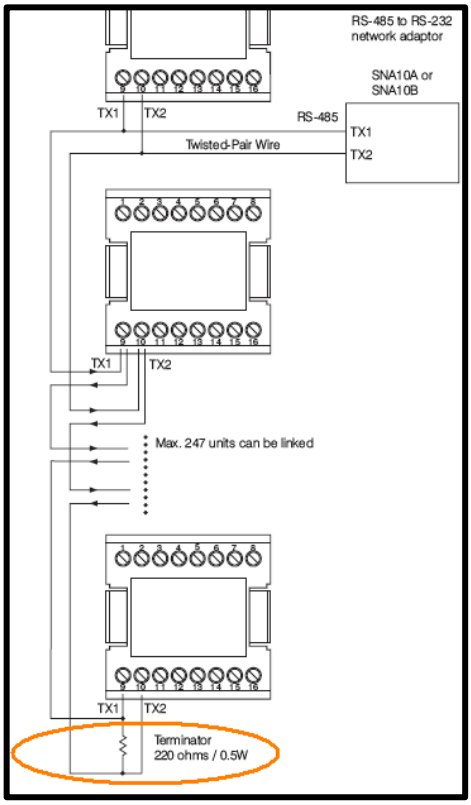


Figura 77.- Diagrama de conexión recomendado por el fabricante de BTC-9300.[72]

De las pruebas realizadas, se comprobó, que para este caso, considerando un cable de comunicación de pares retorcidos, a una distancia de 250m, la mejor configuración se tiene con una resistencia terminal de 220 ohmios colocada en cada extremo de la red RS-485.

5.1.5 VERIFICACIÓN DE LAS ENTRADAS DE DISPOSITIVOS

EQUIPO	ENTRADA	VALOR ENVIADO	VALOR LEIDO	RESULTADO	DESVIACIÓN
BTC-9300	AI 1	0 voltios	0 voltios	CORRECTO	0
BTC-9300	AI 1	5 voltios	5 voltios	CORRECTO	0
DAIO	RTD	25,6 °C	25,55 °C	CORRECTO	0,01°C
DAIO	AI1	4 mA	4 mA	CORRECTO	0mA
DAIO	AI2	20mA	20mA	CORRECTO	0mA

Tabla 24.- Valores obtenidos de pruebas reales.

[72] BrainChild, Manual BTC-9300 Process/Temperature Controller, 2010

Todos los equipos han sido validados referentes a sus entradas que están siendo usadas en la aplicación. Las desviaciones entre la señal real enviada a los equipos y la señal leída se encuentran en el rango permisible.

5.1.6 VELOCIDAD DE COMUNICACIÓN ENTRE EQUIPOS

ORIGEN	DESTINO	TIEMPO DE RETARDO	RESULTADO
BTC-9300	SCADA	< 250 ms	ACEPTABLE
DAIO	SCADA	< 250 ms	ACEPTABLE
HMI	SCADA	< 500 ms	ACEPTABLE
SCADA	BTC-9300	< 250 ms	ACEPTABLE
SCADA	DAIO	< 250 ms	ACEPTABLE
SCADA	HMI	< 500 ms	ACEPTABLE

Tabla 25.- Comparación de conexiones reales entre dispositivos.

De los resultados obtenidos al usar el comando PING para muestrear el tiempo de retardo de la transmisión sobre TCP y usando también el registro de eventos del SCADA, se concluye que el enlace de comunicación SCADA-HMI solo debe ser usado para monitorización debido al tiempo de retardo de alrededor de 500ms. Los otros enlaces se pueden usar para procesos de control cuyos tiempos de respuesta requeridos sean menores a 250ms.

5.2 ELABORACIÓN DE MANUAL TÉCNICO Y DE USUARIO

5.2.1 MANUAL TÉCNICO (Ver Anexo 2).

5.2.2 MANUAL DE USUARIO-INTOUCH (Ver Anexo 3).

5.2.3 MANUAL DE USUARIO-LABVIEW (Ver Anexo 4).

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES.

- Con la ejecución de la presente tesis, se ha concluido con éxito el desarrollo y la implementación de software HMI/SCADA, quedando evidenciado que los objetivos planteados se han cumplido a cabalidad, como es la viabilidad de ventas asistidas por módulos didácticos demostrativos.
- La monitorización continua de datos no es muy eficiente con el protocolo Modbus/TCP, debido básicamente a la sobrecarga[73] que impone el protocolo de transporte TCP. incrementándose considerablemente el tráfico en la red cuando se monitorea en todo momento un esclavo Modbus/TCP particular. La solución para la supervisión de datos continuo sobre una red Ethernet es la utilización del protocolo de transporte UDP.
- De los resultados obtenidos al usar el comando PING para muestrear el tiempo de retardo de la transmisión entre los equipos sobre TCP y usando también el registro de eventos del SCADA, se concluye que el enlace de comunicación SCADA-HMI solo debe ser usado para monitorización debido al tiempo de retardo de alrededor de 500ms. Los otros enlaces se pueden usar para procesos de control cuyos tiempos de respuesta requeridos sean menores a 250ms.
- Hoy en día, el avance de la estructura y aplicación práctica de MODBUS sigue creciendo, la comunidad de Internet desarrolla más aplicativos en base a MODBUS en un puerto del sistema reservada 502 de TCP / IP y usan esta información en variados equipos sobre internet, en la industria y en los smart phones.
- Con la implementación del protocolo Modbus/TCP sobre el módulo didáctico, se evidenció la facilidad y flexibilidad que tiene este protocolo y por ende, es la razón de su alta difusión en entornos industriales, además, se evidencia la interoperabilidad de la red implementada, de forma que desde clientes Modbus/TCP de diferentes fabricantes (Intouch y LabVIEW específicamente)

[73] La sobrecarga tiene que ver con el servicio de entrega de datos confiable y el acuse de recibo para cada paquete transmitido

fue posible leer-escribir registros y datos discretos sobre diversos equipos que conforman la red.

- En el módulo implementado se integraron los protocolos Modbus/TCP y MODBUS RTU, al usar un convertidor de protocolo (PC-E) tanto en la capa física (RS-485 Ethernet) y en la capa de protocolo (MODBUS RTU-TCP) demostrándose que sistemas de control de procesos ya instalados pueden ser supervisados y controlados desde una red TCP/IP (como Internet o la Intranet local) utilizando el estándar Modbus/TCP.
- Comercialmente es más fácil difundir las bondades tecnológicas de un producto si éste se encuentra incorporado en una aplicación real. También se puede usar como estrategia de venta las visitas especializadas demostrativas usando el módulo demo como el desarrollado en este tema de tesis. El proceso de venta se simplifica al exponer a un potencial cliente la realidad del producto y no solamente la información técnica.

6.2 RECOMENDACIONES.

- Referente a los sensores de temperatura hay que tener precauciones de limpieza y protección en la instalación de los PT100 para prevenir errores por fugas de corriente, es frecuente que cables en ambientes muy húmedos se deterioren y se produzca un paso de corriente entre ellos a través de humedad condensada. Estas fugas también pueden ocurrir en óxido, humedad o polvo que cubre los terminales. En general no se debe montar un PT100 en lugares sometidos a mucha vibración pues es probable que se fracture.
- En cables largos se pueden producir interferencias por ruido excesivas, por lo que es recomendable instalar resistencias de terminación entre los cables de datos a ambos extremos del cable RS-485. Esta resistencia debe coincidir con la impedancia del cable (normalmente 120 Ω). No utilizar resistencias bobinadas.
- Cuando se usa dos sistemas diferentes de Adquisición de datos sobre una red Modbus TCP (Intouch, LabVIEW) se debe hacer un algoritmo que permita manejar el control de la escritura de datos en los clientes, ya que debido al carácter multi-maestro de la red, los dos equipos tratan de escribir valores simultáneamente. En nuestro caso la solución fue incorporar un botón de escritura en cada lenguaje que notifica el cambio de datos.

- La elección del enlace de comunicación de equipos de distintas tecnologías debe ser cuidadosa, no siempre los protocolos abiertos como el caso del OPC, tienen 100% de compatibilidad al tratarse de fabricantes diferentes.
- La tecnología avanza a pasos agigantados, motivo por el cual se recomienda que la implementación de la presente tesis sea en nuevos dispositivos como por ejemplo iPad, iPhone, tabletas, Smartphones, mensajería SMS, etc.

BIBLIOGRAFIA

-Libros:

[1] LAJARA, José y PELEGRI, José, *LabVIEW. Entorno gráfico de programación*. Alfa Omega Grupo Editor, México.

[2] BALCELLS Josep, ROMERAL José Luis. *Autómatas programables.* Marcombo editores.

[3] BrainChild, *BTC-9300 Self-Tune Fuzzy / PID Process / Temperature Controller, User's Manual*.

[4] BrainChild, *Protocol Converter PC-E, Serial to Ethernet (RS232/485 Modbus RTU to Modbus TCP/IP), User's Manual*, Rev. 2.0, 10/2010.

[5] BrainChild, *Data Acquisition Modules/ Distributed IO Modules, User's Manual*, Rev. 3.0, 02/2008.

[6] BrainChild, *HMI 450, User's Manual, Third edition*, 1/2011.

-Internet:

[1] Introducción a HMI
http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf

[2] MENDIBURU, Henry, Sistemas SCADA
http://www.galeon.com/hamd/pdf/SCADA.pdf

[3] Lookout Reference Manual
http://www.ni.com/pdf/manuals/321254b.pdf

[4] Introducción a Wonderware Intouch HMI
http://www.wonderware.es/contents/WonderwareInTouchHMI.asp

[5] Introduction to MODBUS, Technical Tutorial
http://www.sena.com/download/tutorial/tech_Modbus_v1r0c0.pdf

[6] Comunicación con RS-485 y MODBUS, Automatización Avanzada 2011 Francisco Andrés Candelas Herías, Universidad de Alicante
http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18990/1/AA-p3.pdf

[7] Manual de Usuario, Interfaz MODBUS RTU (RS-485) para aire acondicionado Mitsubishi Electric, 2011
http://www.intesis.com/pdf/IntesisBox_ME_AC_MBS_1_manual_esp.pdf

[8] Red RS-485
http://www.pantallas-electronicas.es/index.php/es/maes-lejos-con-rs485.pdf

[9] Red RS-485
http://www.neoteo.com/rs485-domotica-al-alcance-de-tu-mano-15810

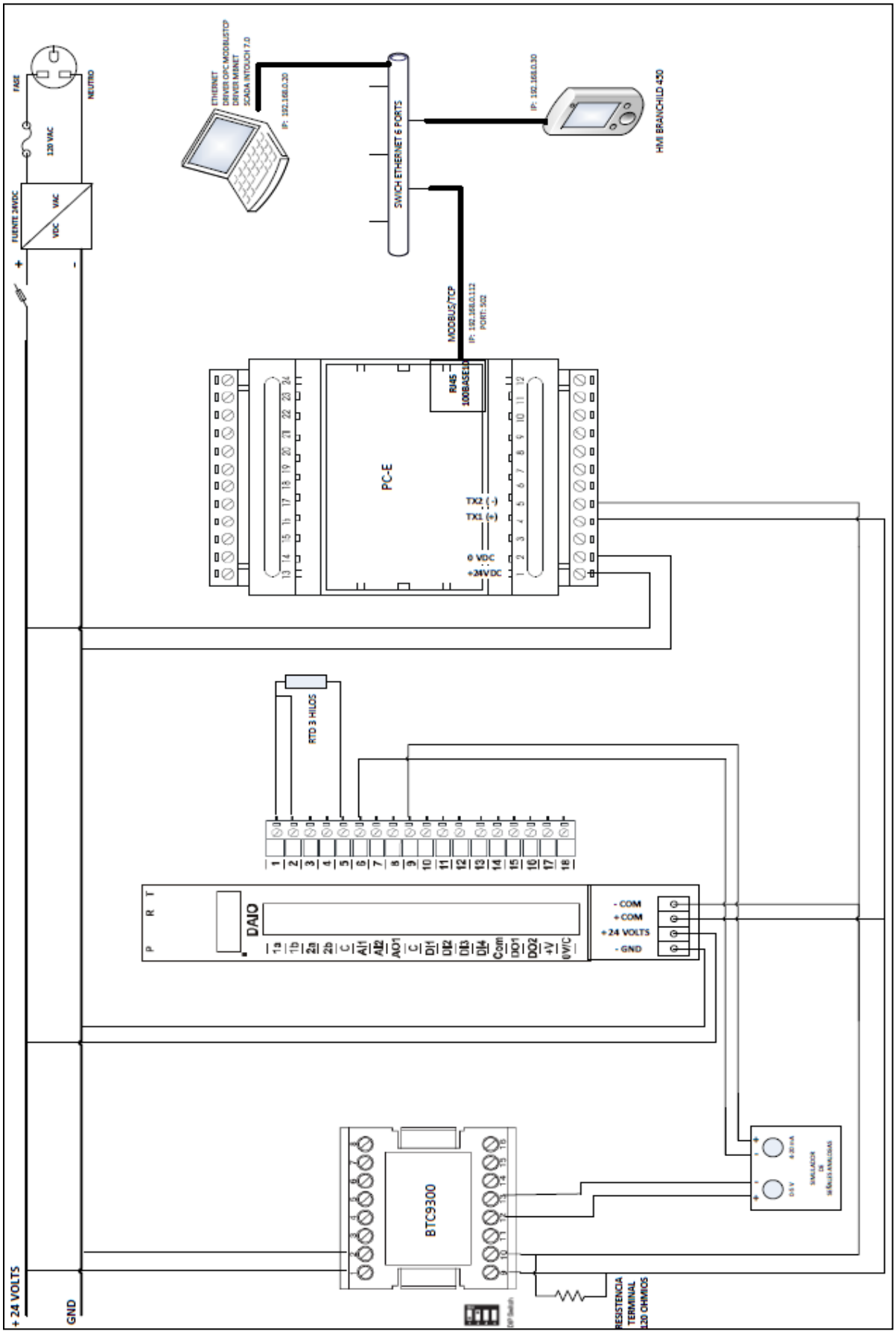
[10] OPC
http://www.automatas.org/redes/opc.htm

ANEXOS

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1.- Diagrama eléctrico del módulo didáctico autónomo 135
Anexo 2.- Manual Técnico del Usuario 137
Anexo 3.- Manual de Usuario-Intouch..... 142
Anexo 4.- Manual de Usuario-LabVIEW 148

Anexo 1.- Diagrama eléctrico del módulo didáctico autónomo


FASE
NEUTRO
120 VAC
FUENTE 24VDC
VAC
VDC
+
-
ETHERNET
DRIVER OPC MODBUSTCP
DRIVER MBNET
SCADA INTOUCH 7.0
IP: 192.168.0.20
SWICH ETHERNET 6 PORTS
IP: 192.168.0.30
HMI BRANCHILD 430
MODBUS/TCP
IP: 192.168.0.112
PORT: 502
RJ45
100BASE-TX
PC-E
TX2 (-)
TX1 (+)
0 VDC
+24VDC
RTD 3 HILOS
DAIO
- COM
+ COM
+ 24 VOLTS
- GND
BTC9300
+ 24 VOLTS
GND
RESISTENCIA
TERMINAL
120 OHMIOS

Anexo 2.- Manual Técnico del Usuario

1. INTRODUCCIÓN

El presente manual detalla el funcionamiento del módulo didáctico autónomo para ventas de la empresa ECUAINSETEC Cía. Ltda., que muestra el proceso de adquisición, monitorización de datos de una línea de productos destinado a la exposición para diferentes empresas que utilizan procesos HMI/SCADA, que está compuesto por los siguientes módulos:

1.1 MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Integra un módulo DAIO de entradas y salidas, digitales y análogas sobre una red MODBUS RS-485.

Integra una señal de temperatura y una señal de entrada de 4 a 20 mA.

1.2 MÓDULO DE COMUNICACIÓN

Integra la red de equipos de campo (controlador, DAIO) de la red Modbus RS-485 sobre un protocolo Modbus RTU, hacia un protocolo de supervisión (HMI, SCADA) llamado Modbus TCP.

1.3 MÓDULO DE VISUALIZACIÓN

Visualiza la variable del proceso y el valor de consigna en un HMI/SCADA.

Grafica la información adquirida tanto en el HMI como en el SCADA.

Permitir la modificación del valor de consigna desde el HMI o SCADA.

El SCADA está desarrollado en dos lenguajes de programación, LabVIEW e Intouch.

2. FUNCIONAMIENTO GENERAL

La interfaz de usuario permite monitorear y controlar cada una de las siguientes variables:

1.1 NIVEL DE AGUA:

La señal del potenciómetro (0-5V) permite simular el vaciado y llenado del tanque de agua respectivamente.

Si el valor simulado (PV[74]) es mayor o igual al valor establecido (SV[75]), procede a cerrar la válvula de paso de agua y se enciende la llama para la cocción del agua.

1.2 TEMPERATURA:

La señal del potenciómetro (4-20mA) permite simular el valor establecido de cocción (SV), con la PT-100 obtenemos una lectura real de la temperatura del tanque (PV).

Si el valor de la lectura de la PT-100 (PV) es mayor o igual al valor establecido (SV)

3. COMPONENTES DE HARDWARE

Figura 1.- Elementos del módulo didáctico.

Elementos más destacados:

1. Controlador BTC-9300	2. Tarjeta de Adquisición de Datos IO-DAIO
3. Conversor RS-485/ Ethernet PC-E	4. Laptop
5. HMI	6. Switch de Red
7. Módulo de potenciómetros (0-5V, 4-20 mA).	8. Interruptor ON/OFF

[74] PV: Process Value: Valor del proceso en tiempo real

[75] SV: Set Value: Valor establecido como el máximo valor a alcanzar dentro del proceso.

4. NOMENCLATURA

SCADA: Supervisory Control and Data Adquisition

OPC: OLE for Process Control

IO-DAIO: Digital + Analog Inputs and Outputs

HMI: Human Machine Interface

LAPTOP: Computadora portátil

PV: Process Value: Valor del proceso en tiempo real

SV: Set Value: Valor establecido como el máximo valor a alcanzar dentro del proceso.

5. MEDIDAS DE SEGURIDAD

No exceda los valores máximos absolutos de calificación, tales como la tensión de alimentación, etc. temperatura ambiente, de lo contrario los equipos puede dañarse.

No realice conexiones con equipos energizados.

El módulo autónomo está diseñado para trabajar con una tensión nominal de Red de 120 VAC.

6. USO DEL MÓDULO DEMO MÓDULO DIDÁCTICO AUTÓNOMO

6.1 DESEMPAQUE

- Abrir el módulo con la flecha indicadora hacia arriba, para evitar que los equipos se desplacen.
- Extraer el módulo de potenciómetros.
- Extraer el adaptador de la laptop.
- Extraer los cables de Red del módulo.
- Extraer el sensor de temperatura PT-100.

6.2 CONEXIÓN DE EQUIPOS

- Conectar el cable de 24V al HMI.

- Conectar el cable de Red desde el HMI al switch.
- Conectar el adaptador a la Laptop.
- Conectar el cable de red entre la Laptop y el Switch.
- Con el interruptor principal en la posición apagado conecte el cable de alimentación de 120VAC a la toma de corriente.

6.3 ENCENDIDO

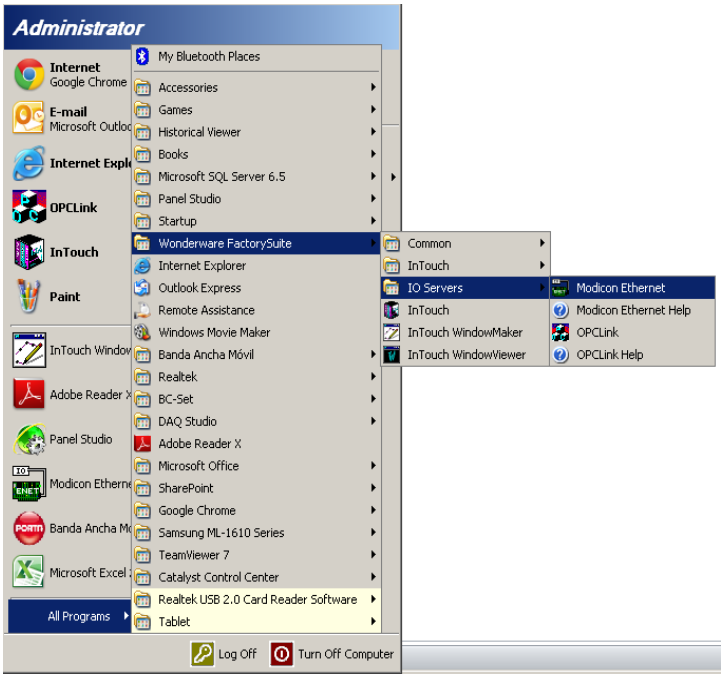
- Ubicar el interruptor principal en la posición encendido y verifique que los equipos se energizan.
- Encender la laptop e ingresar la contraseña “ecuainsetec” para iniciar la sesión de usuario.

6.4 HMI

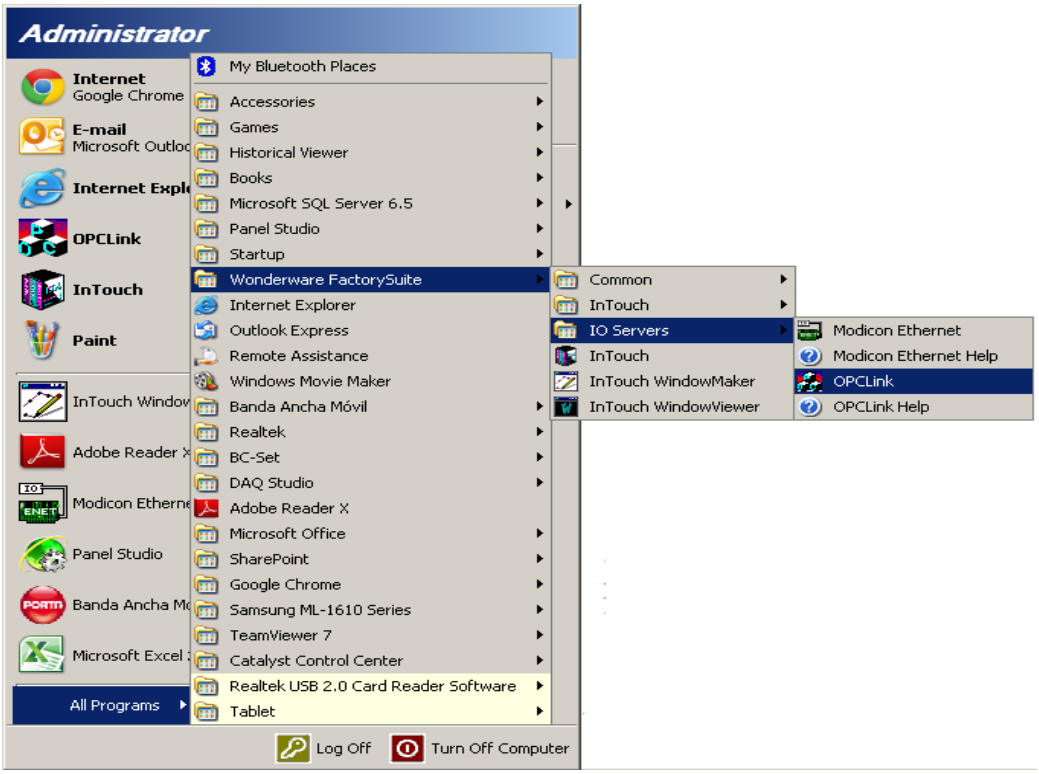
- Presionar en RUN para iniciar la aplicación.

Anexo 3.- Manual de Usuario-Intouch

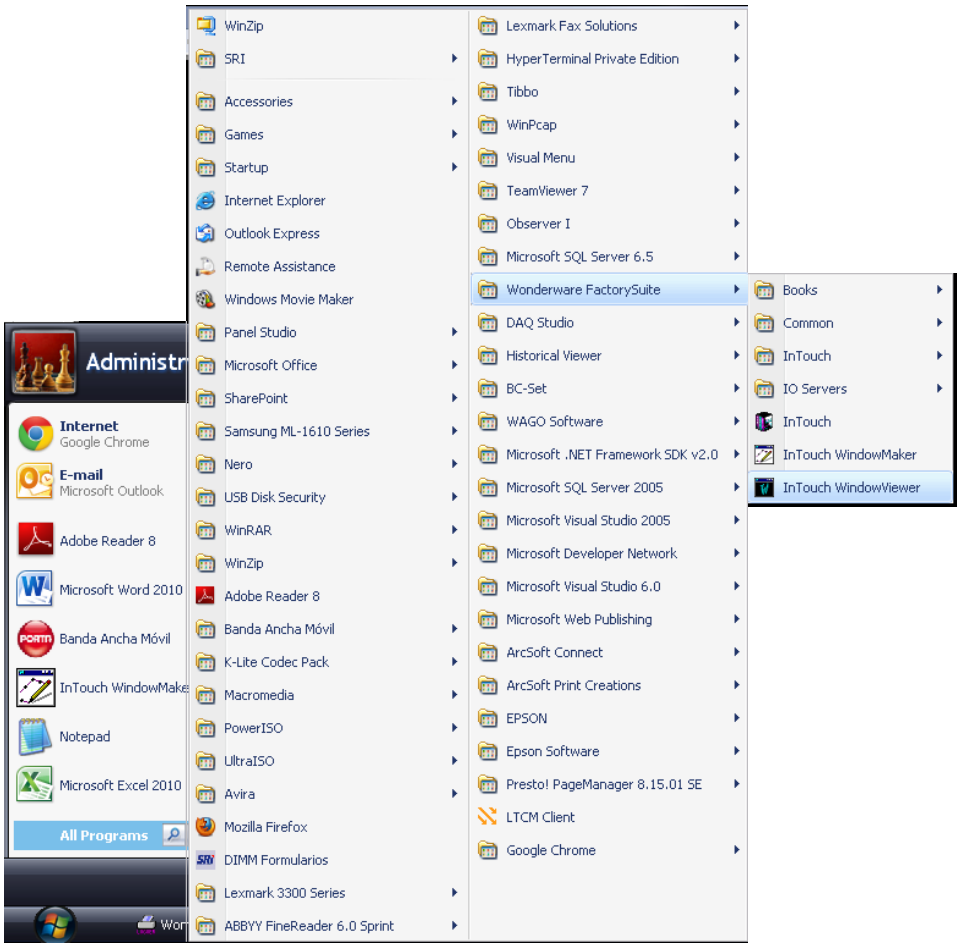
- Abrir el programa **Modicon Ethernet**.



- Abrir el programa OPCLink.



- Abrir el programa Intouch Window Viewer.

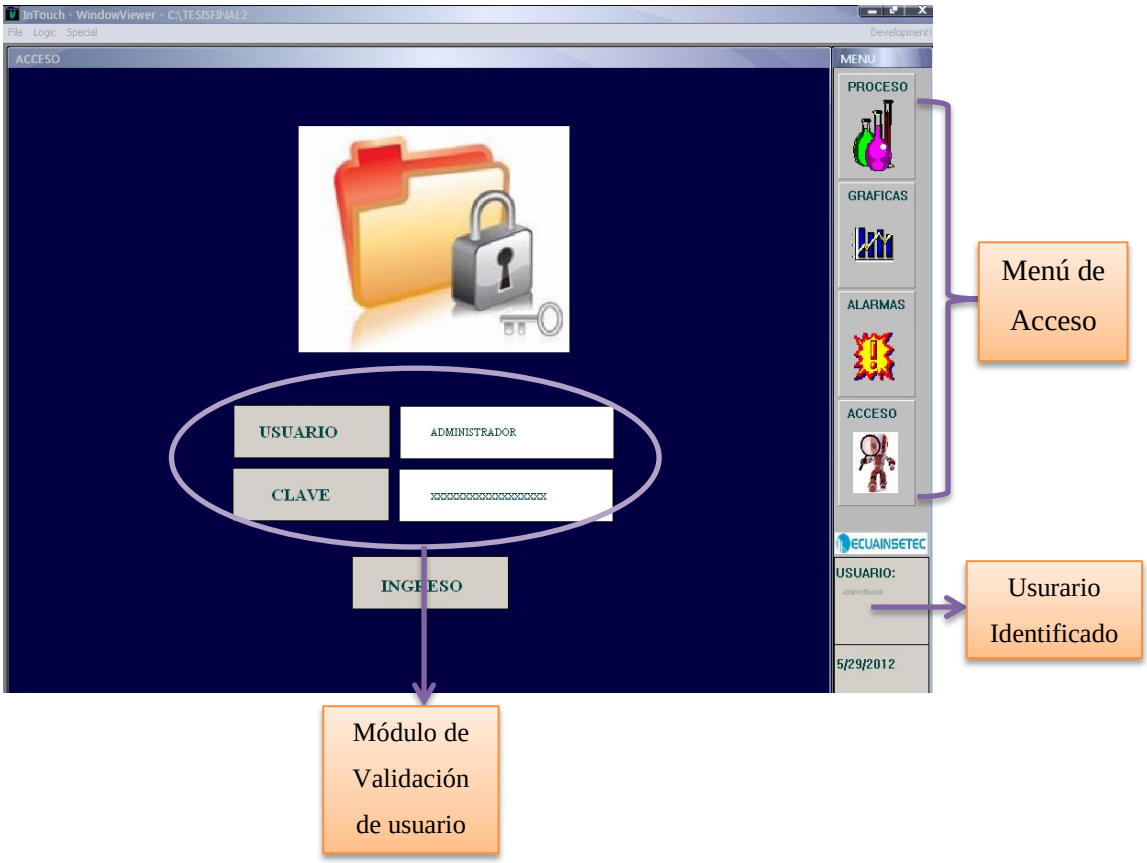


Se despliega el menú principal de la aplicación.

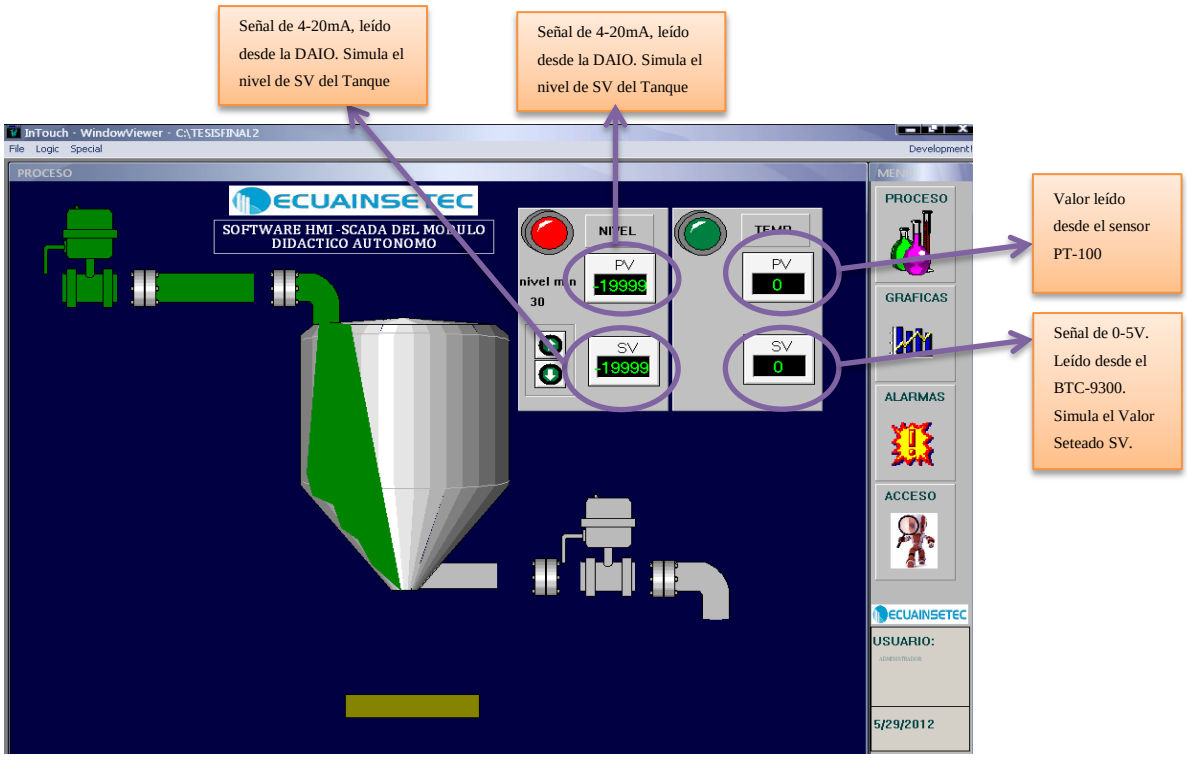
- Presionar el botón “ACCESO” en la barra de menú.
- Se despliega la pantalla de acceso en la cual se debe ingresar los datos de usuario y clave que pueden ser:

USUARIO	CLAVE	PERMISOS
ADMINISTRADOR	ADMIN	COMPLETO
OPERADOR	OPER	LECTURA

Presionar el botón ingreso.

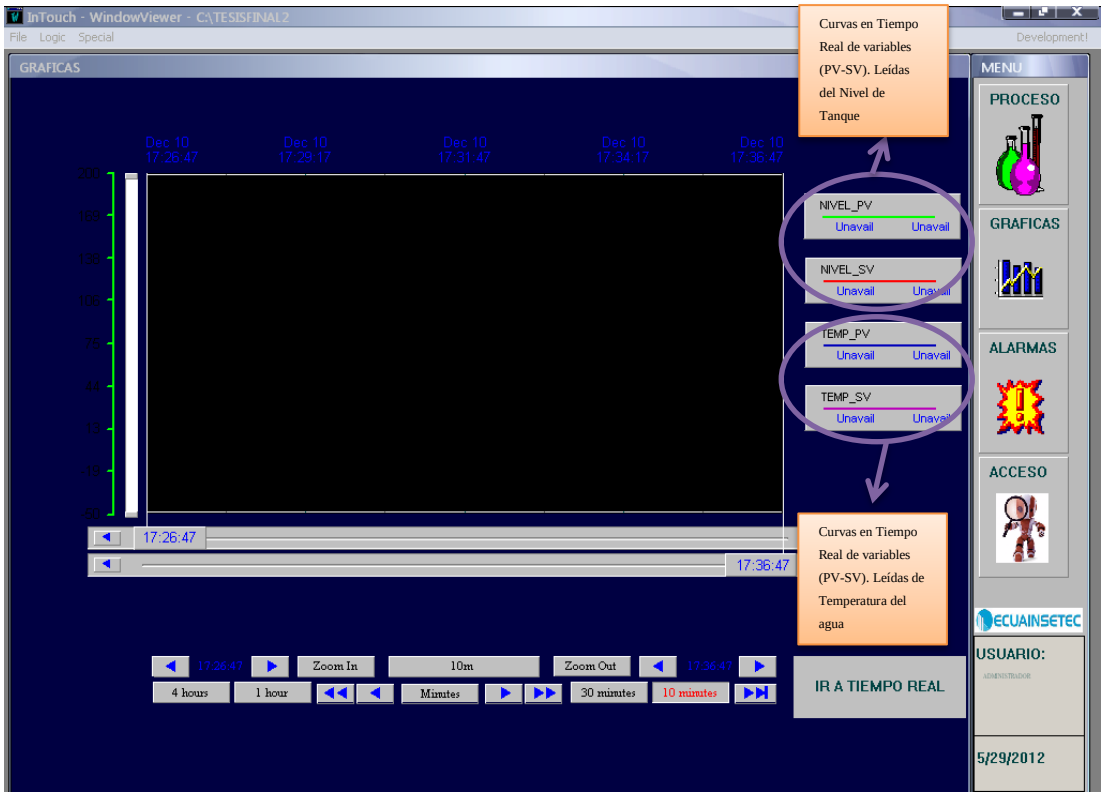


- De acuerdo al usuario seleccionado puede escoger los botones habilitados:
    - PROCESO
    - GRAFICAS
    - ALARMAS


Señal de 4-20mA, leído desde la DAIO. Simula el nivel de SV del Tanque
Señal de 4-20mA, leído desde la DAIO. Simula el nivel de SV del Tanque
Valor leído desde el sensor PT-100
Señal de 0-5V. Leído desde el BTC-9300. Simula el Valor Seteado SV.
InTouch - WindowViewer - C:\TESISFINAL2
PROCESO
ECUAINSETEC
SOFTWARE HMI -SCADA DEL MODULO DIDACTICO AUTONOMO
NIVEL
TEMP
PV
SV
GRAFICAS
ALARMAS
ACCESO
USUARIO:
5/29/2012

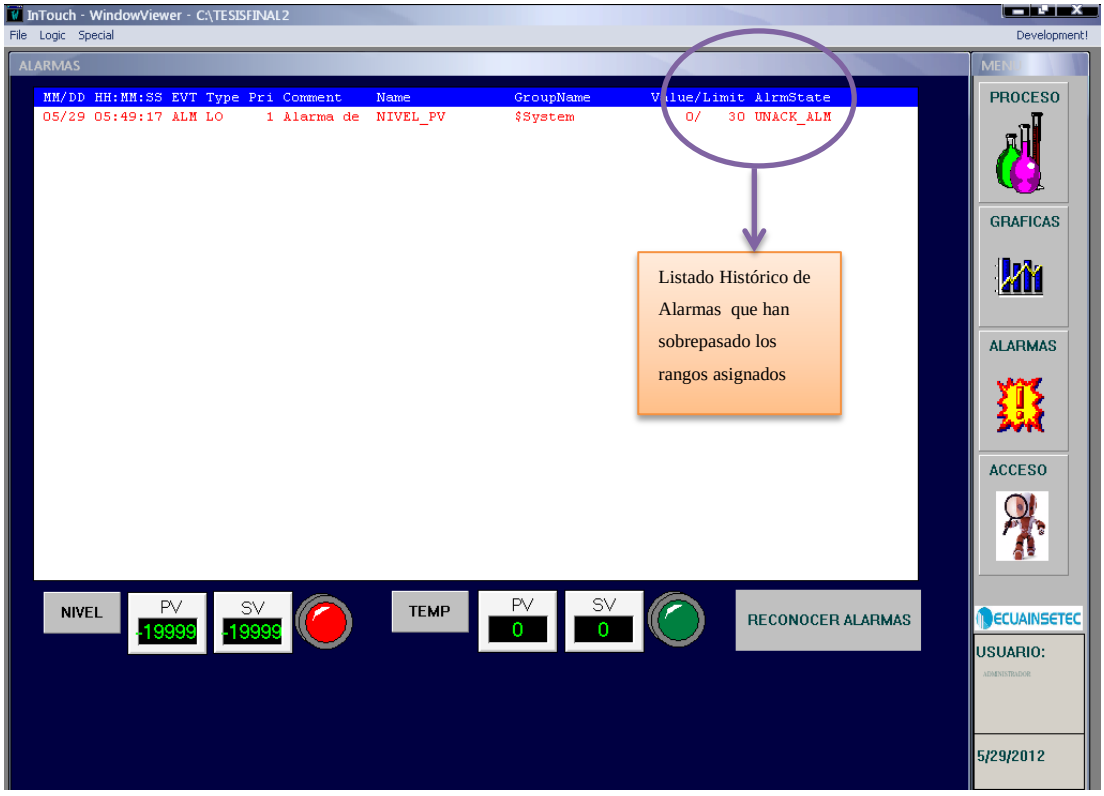
MENÚ PROCESO

Es el mímico que representa al proceso controlado, en este menú permite cambiar los valores de consigna del nivel y como también el nivel mínimo, si el usuario ingresado es Administrador, caso contrario solo permite visualización.



MENÚ GRAFICAS

En este menú permite visualizar las gráficas de tendencias de las variables del proceso en tiempo real e histórico. Contiene las funciones de navegación, Zoom, selección de tiempo.



MENÚ ALARMAS

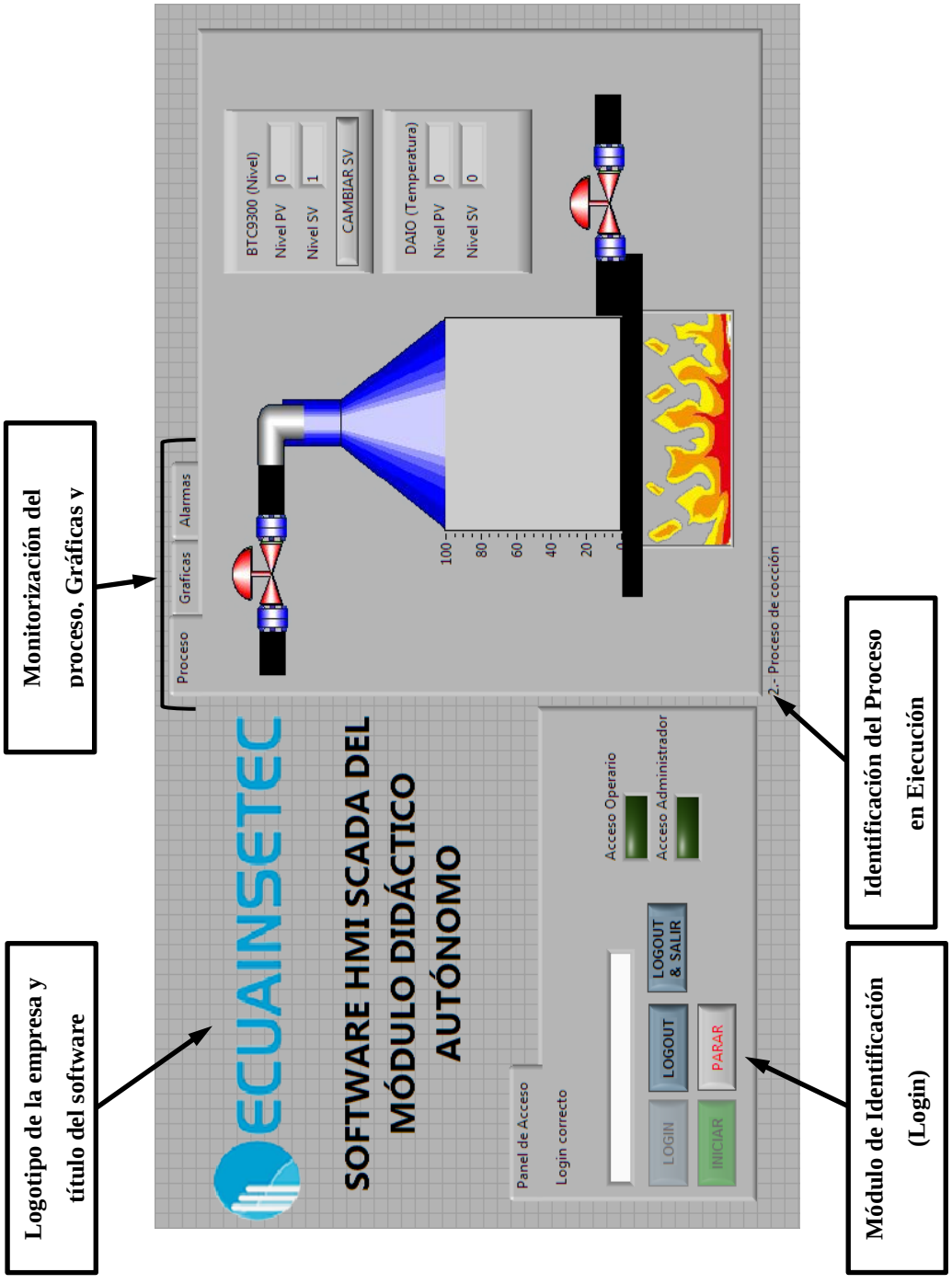
Este menú contiene el listado histórico de alarmas que han sucedido en el proceso. Permite el reconocimiento del estado de la alarma.

Anexo 4.- Manual de Usuario-LabVIEW

1. INTRODUCCIÓN

El presente manual tiene la finalidad de ayudar al usuario final en el manejo del proceso de monitorización y control del módulo de adquisición de la empresa ECUAINSETEC S.A.

2. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DEL PROGRAMA



El software desarrollado en LabVIEW consta de las siguientes partes:

Módulo de identificación (Login): Cuya función es identificar y asignar ciertos permisos de manipulación de valores del proceso en general.

Módulo principal de monitorización del proceso: Destinado para la visualización de cada una de las fases de ejecución del proceso.

Identificación del proceso en ejecución: Muestra en mensaje, el proceso que se está ejecutando (Llenado del tanque, Proceso de cocción y Vaciado de tanque).

Módulo de monitorización de gráficas: Muestra en tiempo real la gráfica de evolución del proceso en ejecución, permitiendo identificar en momento exacto en que sucedió el incremento o decremento del nivel de agua y temperatura.

Módulo de monitorización de alarmas: Muestra en tiempo real la activación de alarmas del proceso en ejecución, permitiendo identificar en momento exacto en que sucedieron, por ejemplo, el momento en que se alcanzó la temperatura de cocción al nivel señalado o el momento en que llegó a llenarse el tanque, etc.

3. MANEJO DE USUARIOS

Se puede dar permisos al nivel de usuario identificado en el software, para lo cual cabe indicar que existen los siguientes usuarios permitidos que se detallan a continuación:

USUARIO:	CLAVE:	PERMISOS
Administrador	Admin	Total (cambia nivel SV)
Operario	Operario	Total a excepción del cambio nivel SV

Ingresamos la clave y presionar el botón **LOGIN**.

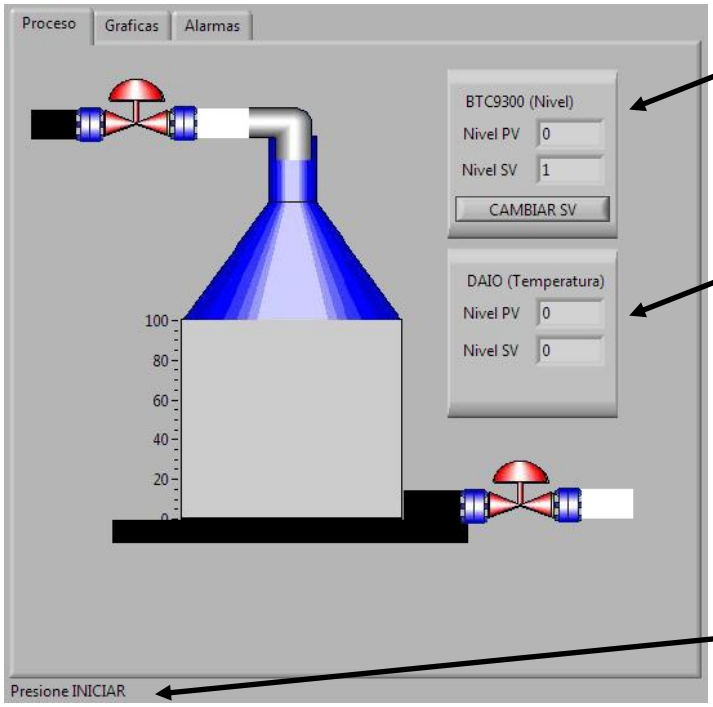
El panel de Acceso indica que el usuario "Administrador" se ha identificado correctamente.

El panel de Acceso indica que el usuario "Operario" se ha identificado correctamente.

Para salir hay dos opciones, el botón **LOGOUT** y **LOGOUT & SALIR,** la diferencia radica en que con el primero se finaliza la sesión y de inmediato se puede ingresar otros usuario (necesario para cambiar de admin a operario) y con la segunda opción se finaliza la sesión y termina la ejecución del programa.

Hacer clic en el botón **INICIAR**, (paso necesario para controlar el proceso principal)

4. MANEJO DEL PROCESO

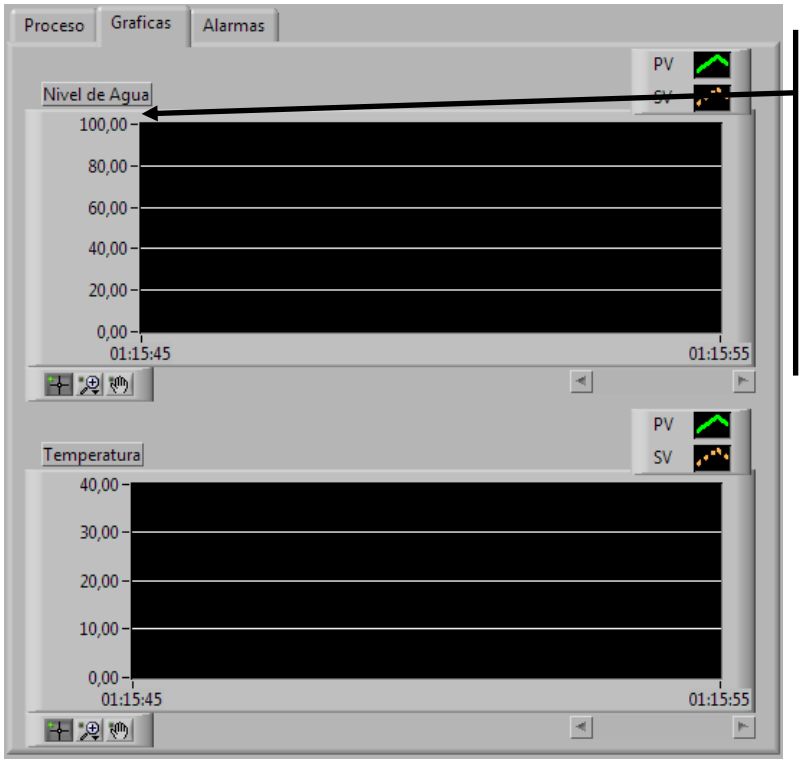


Muestra la lectura del dispositivo BTC 9300

Muestra la lectura del DAIO

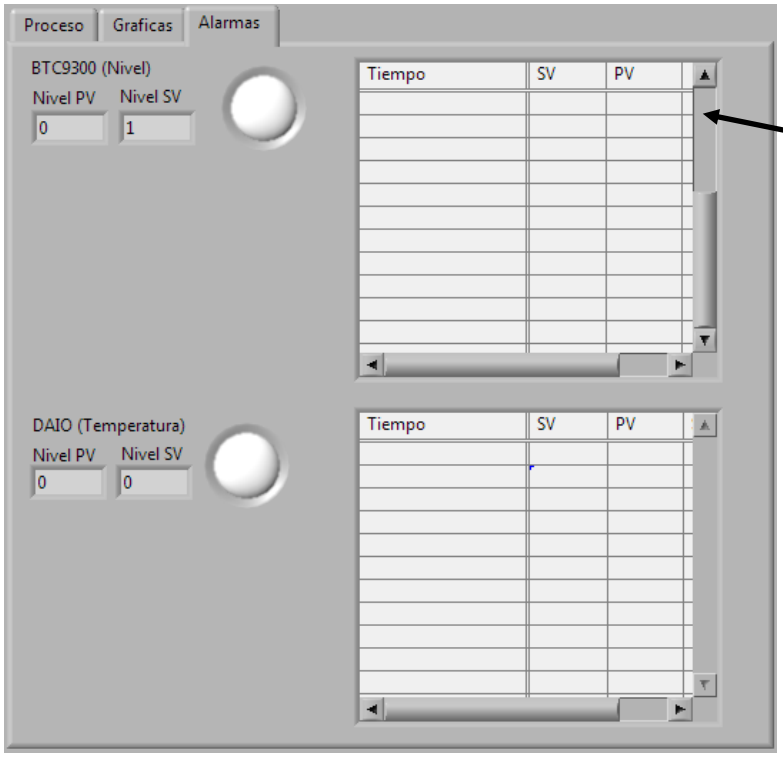
Muestra el estado de nuestro proceso

5. VISUALIZACIÓN DE GRÁFICOS



Permite visualizar en tiempo real el comportamiento de las señales de PV y SV, tanto de nivel de agua como de temperatura

6. ALARMAS



Permite visualizar en tiempo real el comportamiento de las señales de PV y SV, tanto de nivel de agua como de temperatura, alertando sobre un posible sobre valor de dichas señales, almacenando con fecha y hora el suceso